

Bachelorthesis

Konstruktion eines Fahrtriebs für das Schneidtsystem einer 3D-Plasmaschneidroboteranlage

Vorgelegt am: 20. August 2012

Von: **Bollmann David**
August-Bebel-Straße 136
08344 Grünhain-Beierfeld

Studiengang: industrielle Produktionstechnik

Studienrichtung: Produktionstechnik

Seminargruppe: PT09/1

Matrikelnummer: 4090629

Praxispartner: AMS Technology GmbH
Johann-Esche-Straße 4
09212 Limbach-Oberfrohna

Freigabeerklärung

Hiermit erklären wir uns einverstanden/~~nicht einverstanden~~^{*)}, dass die Bachelorthesis /
~~Diplomarbeit~~^{*)} der/des Studenten/in

Name, Vorname: ...**Bollmann, David**

SG : **PT09/1**

zur öffentlichen Einsichtnahme durch den Dokumentenserver der Bibliothek der Staatlichen Studienakademie Glauchau bereitgestellt wird.

Thema der Arbeit:

**Konstruktion eines Fahrtriebs für das Schneidtischsystem einer
3D-Plasmaschneidroboteranlage**

Limbach-Oberfrohna, den 20.08.2012

Ort, Datum

David Bollmann

Unterschrift Student/in

 **AMS TECHNOLOGY**
Johann-Esche-Straße 4
D-09272 Limbach-Oberfrohna
Tel.: +49 (0) 37 22 / 50 33 0, Fax: -33
www.ams-systeme.de

.....
Stempel, Unterschrift Bildungsstätte

*) Nichtzutreffendes bitte streichen

Studiengang Industrielle Produktion

Themenblatt Bachelor-Thesis

Student: Bollmann, David

SG: PT09/1

Matr.-Nr.: 4090629

Bildungsstätte:

AMS Technology GmbH

Anschrift:

Johann-Esche-Straße 4
09212 Limbach-Oberfrohna

Gutachter/Betreuer:

Herr Dipl.-Ing. Jens Barth

Gutachter (Studienakademie):

Frau Dipl.-Ing. Nicole Höfler

Thema der Bachelor-Thesis

Konstruktion eines Fährantriebs für das Schneidtischsystem einer 3D-Plasmaschneidroboteranlage

Bearbeitungsschwerpunkte:

- Beschreibung der ausgewählten Konstruktionslösung mit Angabe der kalkulierten Kosten
- Realisierung der Konstruktion
- Sicherheitsbetrachtung und optional Erstellung der Betriebsanleitung

Ausgabe des Themas:

21. Mai 2012

Abgabe der Arbeit an den SG am:

20. August 2012


Prof. Dr. Heiko Enge
Leiter des Studienganges
Industrielle Produktion

www.ba-glauchau.de



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Formelverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einführung	1
1.1 Firmenprofil AMS Technology GmbH.....	1
1.2 Abriss - Plasmaschneiden bei AMS	3
1.3 Warum angetriebene Wechseltische?.....	6
2 Grundlagen für die Antriebskonstruktion	9
2.1 Abmessungen des Tischsystems.....	9
2.2 Betriebsdaten	11
2.3 Sicherheit im Ist – Zustand.....	14
2.4 Resultierende Anforderungen	18
3 Antriebskonstruktion	21
3.1 Zentralantriebsvariante.....	21
3.1.1 Auswahl	21
3.1.2 Merkmale	22
3.2 Ausarbeitung	24
3.2.1 Hilfsmittel, Methoden.....	24
3.2.2 Mechanik – Baugruppen	24
3.2.3 Bedienungskonzept.....	27
3.2.3.1 Auslegung Energiezuführung.....	27
3.2.3.2 Antriebssteuerung.....	29
3.3 Montage	34
3.3.1 Restriktionen	34
3.3.2 Ablaufplan	34
3.4 Kostenkalkulation	38

4	Sicherheitsbetrachtung	41
4.1	Vorgehen.....	41
4.2	Wechseltischsystem im Ist- Zustand	42
4.2.1	Risikoanalyse	42
4.2.2	Risikobewertung.....	43
4.2.3	Sicherheitskonzept.....	45
4.3	Angetriebenes Wechseltischsystem.....	46
4.3.1	Risikoanalyse und -beurteilung	46
5	Schritte zur Umsetzung der Konstruktionslösung	50
5.1	Fertigungsplan	50
5.2	Problemstellen.....	51
5.3	Meilenstein Budgetfreigabe	52
6	Antriebsprojektstand	55
6.1	Problem Budgetfreigabe - neue Gedanken	55
6.2	Abschlussbemerkungen zum Zentralantrieb	59
	Literaturverzeichnis	60
	Anhangverzeichnis	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	3D Plasmaschneiden von Behälterböden.....	4
Abbildung 2	Wechseltischsystem mit Korbbogenböden belegt	5
Abbildung 3	Schienenprofil in der Ausführung nach DIN 536 – A	9
Abbildung 4	Wechseltisch außerhalb der Anlage	10
Abbildung 5	Räumliche Grenzen am Wechseltischsystem.....	17
Abbildung 6	Zentralantrieb mit Verbindungswelle	22
Abbildung 7	Ansicht Federleitungstrommel montiert	25
Abbildung 8	Baugruppengliederung	26
Abbildung 9	Federleitungstrommel in Standardausführung.....	27
Abbildung 10	Auszug aus Layoutplan Plasmaschneidanlage	28
Abbildung 11	Handterminal Euchner - Betätigungsstufen des Zustimmschalters .	30
Abbildung 12	Endschalterpositionen	31
Abbildung 13	Ablaufbedingungen für die Fahrbewegung	33
Abbildung 14	Montageablaufplan	37
Abbildung 15	Kostendiagramm Automatisierungs-/ Gesamtkosten.....	40
Abbildung 16	Risikoeinstufung - manuell betriebenes Tischsystem	44
Abbildung 17	Risikobeurteilung - Systemgrenzen angetriebenes Tischsystem.....	47
Abbildung 18	Skizze zur Bedienkabellänge.....	48
Abbildung 19	Risikoeinstufung - elektrisch angetriebenes Tischsystem	49
Abbildung 20	Fertigungsablauf Einzelteile Baugruppe Position 2	50
Abbildung 21	Vergleich Vorkalkulation - Abschlusskalkulation.....	54
Abbildung 22	Anhängekupplung nach DIN 15170 - G - 3.....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Betriebsdaten Wechseltischsystem.....	14
Tabelle 2	Systemgrenzen der Wechseltische im IST- Zustand.....	16
Tabelle 3	Beschleunigungsmomente	19
Tabelle 4	Inhalte der Montagestufen	36

Formelverzeichnis

Formel 1	Rollreibungskraft.....	7
Formel 2	Fahrwiderstand.....	7
Formel 3	experimentelle Reibungszahl μ_{exp}	12
Formel 4	rechnerische Reibungszahl μ_{rechn}	12
Formel 5	rechnerischer Fahrwiderstand F_w	12
Formel 6	Beschleunigungszeit.....	Anhang 4
Formel 7	Beschleunigungsweg.....	Anhang 4
Formel 8	reduziertes Massenträgheitsmoment.....	Anhang 4
Formel 9	Beschleunigungsdrehmoment am Antriebsrad	Anhang 4

Abkürzungsverzeichnis

AV	Arbeitsvorbereitung
FEM	Finite Elemente Methode
FU	Frequenzumrichter
HBA	Handbediengerät
MA	Mitarbeiter
PHG	Programmierhandgerät
QS	Qualitätssicherung
VDI	Verein deutscher Ingenieure

1 Einführung

1.1 Firmenprofil AMS Technology GmbH

Die AMS Technology GmbH befindet sich in Limbach-Oberfrohna im Gewerbegebiet Süd. Als ein Tochterunternehmen der OMEGA Blechbearbeitung AG wurde die Firma im Jahr 2002 neu gegründet. Nach der Integrierung in die OMEGA – Unternehmensgruppe, zu der weiterhin die GEMAG (Gelenauer Maschinenbau AG) und die LOV (Limbacher Oberflächenveredlung GmbH) gehören, bereichert die AMS mit dem Edelstahl-Apparatebau das Produktspektrum der Gruppe. Die 80 Mitarbeiter fertigen am Standort komplexe Schweißbaugruppen, Druckbehälter, Lagertanks, Rührbehälter und Apparate aus korrosionsbeständigem Edelstahl für die verschiedensten Industriezweige wie z.B. der chemischen-, pharmazeutischen-, Kosmetik- und Lebensmittelindustrie.

Das Unternehmen gliedert sich ausgehend vom Geschäftsführer Dr.-Ing. Uwe Landmann in zwei Bereiche mit je einem Betriebsleiter auf. Zum einen der Bereich mit den Abteilungen technischer Vertrieb, Fertigung und Lehrwerkstatt, sowie die Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und der Einkauf im zweiten Bereich. Hinzukommen noch die Qualitätssicherung und ein Schweißingenieur, welcher das Bindeglied zwischen den beiden Bereichen ist. Die QS ist ein direkt der Geschäftsleitung unterstelltes Organ zur Kontrolle der gesamten Fertigung während des Auftragsablaufes.

Eine Auftragsbearbeitung des typischen Produkts von AMS, der Behälter, gestaltet sich folgendermaßen:

Nach Abgabe eines im Vertrieb erstellten Angebots an einen Kunden und anschließend dem Auftragseingang erfolgt die Konstruktionsarbeit. Es werden abhängig vom Behälter Druck- und Lastwechselberechnungen sowie FEM - Analysen durchgeführt. Daraufhin werden Entwürfe angefertigt und nach Klärung aller technischen Forderungen sind Fertigungszeichnungen und Stücklisten zu erstellen. Nachfolgend erarbeitet die Arbeitsvorbereitung anhand dieser Unterlagen die Fertigungspapiere. In enger Zusammenarbeit mit der AV steht die Abteilung Einkauf. Nach Materialzusammenstellung der Arbeitsvorbereitung werden die nötigen Bleche, Böden, Rohre und Stutzen vom Einkauf beschafft. Sind die vorbereitenden Arbeiten abgeschlossen, gehen die Auftragsunterlagen mit Zeichnungen, Stück- und Zuschnittlisten sowie Arbeitsanweisungen an den Meister in die Fertigung.

Der Prozess des Behälterbaus bei AMS Technology ist gekennzeichnet durch die Abteilungen in der Fertigung. Dazu gehören der Zuschnitt, die Vorfertigung, die Schleiferei, die Beizabteilung, die Mechanik und der eigentliche Behälterbau.

Im Bereich des Zuschnitts, mit dem Plasmaschneidroboter, entstehen die Ausschnitte in die Behälterböden und Mantelbleche. Geschnitten werden die Stutzen- und Mannlöcher mit gleichzeitiger Schweißnahtvorbereitung durch Anfasen.

In der Vorfertigung werden die zugeschnittenen Bleche zu fertigen Zylindern oder Konen gerundet und verschweißt. Ein Behälter setzt sich aus mehreren solcher Zylinder, auch Mantelschüsse genannt, zusammen. Zum Einsatz kommen dabei zwei Dreiwalzenrundbiegemaschinen. Mithilfe von hydraulischen Pressen und Bördelmaschinen fertigen die Werker auch Kegelböden.

Sind besondere Oberflächenqualitäten gefordert, wird in der Schleifabteilung auf einer speziellen Behälterschleifmaschine die gewünschte Rauheit von Böden und Mänteln erzielt. Geschliffen werden je nach Bedarf die Innen- und Außenflächen. Andere Teile wie Stutzenrohre, Tragelemente oder Geländer bekommen an speziellen Handarbeitsplätzen ihre erforderliche Oberflächengüte.

Wenn alle vorzubereitenden Teile zusammengetragen sind, setzen die Behälterbauer die Komponenten zu einem kompletten Behälter zusammen. Dabei ist der erste Schritt die Fertigstellung der Böden. Angeschweißt werden beispielsweise Tragösen, Stutzen, Flansche oder Mannlöcher. Danach werden die Mantelschüsse mit den Böden zusammengesetzt, ausgerichtet und röntgensicher miteinander verschweißt. Ist der „Rohbehälter“ fertig gestellt, führen die Behälterbauer die abschließenden Arbeiten aus. Darunter fallen die Installation von Heiz- oder Kühlsystemen, das Anbringen der Isolierung oder das Anschweißen von Leitern.

Der Bereich Beizen befreit während und vor allem am Ende des Bauprozesses die geschweißten Einzelteile und den kompletten Behälter von anhaftenden Oxidschichten und Zunder. Es wird gebeizt, gereinigt und abschließend passiviert um den Behälter mit einer homogenen Oberfläche zu versehen und ihn vor Korrosion zu schützen. Die Qualitätssicherung überwacht die ausgeführten Arbeiten. Ist der Behälter bis auf die abschließende Oberflächenbearbeitung fertig, erfolgt die Druck- und Dichtigkeitsprüfung. Die Messwerte werden dokumentiert und das Erzeugnis wird vom TÜV abgenommen. Wenn diese Prüfungen bestanden sind erfolgt die Komplettierung im Behälterbau.

Anschließend wird der Behälter für den LKW- oder Seetransport verpackt und versandt. Ist eine Inbetriebnahme und Endmontage am jeweiligen Produktionsstandort in der Bestellung vertraglich vereinbart, erfolgt diese abschließend. Darin enthalten sind das Aufstellen des Behälters vor Ort, das Anbringen der für den Transport demontierten Anbauteile (z.B.: Geländer, Rührwerk, Leitern oder Ventile), das Anschließen der Rohrleitungen und eine Funktions- und Dichtigkeitsprüfung zum Schluss.

1.2 Abriss - Plasmaschneiden bei AMS

Im Behälterbau nehmen die Schweißarbeiten im Fertigungsprozess den Hauptanteil ein. Bevor jedoch die gerundeten Mantelschüsse mit dem Boden verschweißt oder Stutzen und Mannlöcher eingeschweißt werden, ist eine exakte Schweißnahtvorbereitung erforderlich. Vorbereitung der Schweißnaht bedeutet ein Anfasen der zu verschweißenden Blechstöße für die gewünschte Nahtform. Zum Beispiel müssen bei einer V-Naht die Blechstöße mit einer 30° Fase versehen werden damit sich eine V-Fuge von 60° ergibt.

Dies erfolgt in der Abteilung Zuschnitt. In diese Abteilung ist das Plasmaschneiden als eigenständiger Fertigungsbereich eingegliedert. Zum Aufgabengebiet gehören das Zuschneiden von Blechen mit schneidbaren Blechdicken von 0,5- 50mm und der dreidimensionale Zuschnitt an Behälterböden oder kompletten Behältermänteln. Beim Ausbrennen der Löcher und Öffnungen am Boden ist es durch die 3D-Robotertechnologie möglich, die Schweißnahtvorbereitung im gleichen Arbeitsgang mit vorzunehmen. Der Schneidroboter bringt also die gewünschten Fasen an der Öffnung im Ober- oder Unterschnitt an und erspart somit den Behälterbauern ein aufwendiges Anfasen mit Handgeräten, wie z.B. dem Winkelschleifer. Durch die Möglichkeit des exakten und schnellen 3D-Zuschnitts der Stutzen- und Mannlöcher mit gleichzeitiger Nahtvorbereitung nimmt die Plasmaschneidanlage eine wichtige Position innerhalb des Fertigungsprozesses in der Firma AMS ein.

Bevor die Maschine im Jahr 2009 in Betrieb genommen wurde, war das Einbringen der Löcher in die Böden eine Arbeit, die viel Zeit in Anspruch nahm. Mithilfe eines Gestells wurde über dem Boden das Lot gefällt und der Mittelpunkt bestimmt. Der Punkt wurde markiert und danach erfolgte die Kennzeichnung des Umfangs mit den notwendigen Gradzahlen. Mit einem Zirkel wurde die genaue Lage der gewünschten Öffnung, vom Mittelpunkt ausgehend in Richtung der exakten Gradzahl und im geforderten Lochkreis, festgelegt. Die zu schneidenden Löcher wurden markiert und am gesamten Umfang angeköhnt. Die Technik des Anköhlens war notwendig, um beim anschließenden Ausbrennen der Löcher mit dem Handplasmaschneider den Anriss nicht zu verfehlen. Der gesamte Prozess nahm je nach Anzahl der zu schneidenden Löcher bis zu 2 Arbeitstage in Anspruch. Dem gegenüber steht eine heutige Bearbeitungszeit auf dem 3D-Schneidroboter, der in Abbildung 1 zu sehen ist, von höchstens vier Stunden, welche die Programmierung und Simulation schon enthält.

Die Anlage befindet sich in einer separaten Maschinenhalle, welche über ein Rolltor und einen Seiteneingang zugänglich ist. Vor der Eingangstür befindet sich das Bedienpult, von welchem aus die nötigen Programme für die Bearbeitung geladen werden. Aus dem Bereich Offline - Programmierung werden diese bereitgestellt. Dabei werden aus der vorgegebenen Zeichnung oder dem CAD-Modell des zu schneidenden Bodens oder Blechs die Programme erzeugt. Es kann aber auch am Bedienpult

ein Schneidprogramm erstellt werden. Daran angeschlossen ist ein Programmierhandgerät, das PHG. Es besitzt ein großes Display und eine Folientastatur. Darüber wird die Robotersteuerung gestartet und Programme werden erstellt, abgearbeitet oder geändert. Mittels PHG kann jede beliebige Position mit dem Roboter angefahren werden, um z.B. verschiedene Punkte zu einer Schneidkontur einzulesen.

Die eigentliche Schneidanlage besteht aus einem 8m langen und 6m hohen Portal. An diesem ist ein 3m breiter horizontaler Ausleger montiert. Zwei Linearführungen halten den Ausleger am Portal und ein Zahnstangenantrieb ermöglicht die Linearbewegung. Ein Schlitten, der sich am Ausleger befindet, realisiert die horizontale und vertikale Linearbewegung mit einem Hub von 1m. Auf den Schlitten ist ein massives Rechteckprofil in vertikaler Richtung montiert, welches wiederum den 6-achsigen Industrieroboter ROMAT 350 trägt. Der Anbieter von Schweiß- und Robotertechnik CLOOS hat das Portal mit seinen Anbauteilen so steif wie nur möglich ausgelegt um die gewünschte Längsschnitt-Toleranz von 1mm einzuhalten. Je nach zu bearbeitendem Material und Bauteil sind in der laufenden Fertigung sogar Toleranzen von 0,7mm erreichbar.



Abbildung 1 3D Plasmaschneiden von Behälterböden

(Firmenfoto, AMS Technology GmbH)

Am Roboterarm ist der Plasmabrenner mit einer Aluminiumhalterung befestigt. An der Halterung befindet sich seitlich der pneumatisch schwenkbare taktile Taststift. Bevor ein Schneidprogramm abgearbeitet wird, benötigt die Robotersteuerung die genaue Form und Lage des Werkstücks auf dem Schneidisch. Deshalb wird ein Messvorgang mit dem Taststift durchgeführt. Dabei wird der Stift ausgeklappt, vorgegebene Punkte werden angefahren und als Ist-Position abgespeichert.

Die Steuerung des Brenners und die Schneidtechnologie stammen von der Firma Kjellberg. Über ein Schlauchpaket werden dem Brenner die Medien für den Schneidvorgang zugeführt. Medien sind das Plasmagas sowie der Zünd- und Schneidstrom zur Zündung und Aufrechterhaltung des Lichtbogens. Sauerstoff, Wasserstoff, Wasserstoffgemisch mit 95% N₂ und 5% H₂, Argon, verdichtete Druckluft oder Stickstoff sind Schneidgase, welche nach dem zu schneidenden Werkstoff ausgewählt werden. Der Lichtbogen wird von einem Hochspannungszündgerät erzeugt. Um den Zuführweg gering zu halten wurde das Gerät in der Nähe des Brenners am vertikalen Ausleger platziert. Der Schneidstrom wird durch eine Inverterstromquelle an der Seite des Portals erzeugt. In Abhängigkeit des Materials, der Materialdicke, der Schneidgeschwindigkeit und des benutzten Schneidgases wird der Strom im Programm vorgegeben und während des Schneidens von der Steuerung angepasst.



Abbildung 2 Wechseltischsystem mit Korbbogenböden belegt

(Firmenfoto, AMS Technology GmbH)

Kennzeichnend für die Werkstückaufnahme ist das Wechseltischsystem der Anlage. Ein Tisch besteht aus dem auf Schienen gelagerten Fahrwagen welcher den Schneidisch trägt (siehe Abbildung 2). In den Tischen ist eine Absaugung integriert. Durch ein Klappensystem werden lediglich die an der momentanen Schneidposition des Roboters entstehenden Gase abgesaugt. Dabei ist die Absaugfunktion nur gegeben, wenn die Tische in die Halle eingefahren und in ihrer Endlagenposition arretiert sind. So ist die Verbindung des Tischabsaugrohrs mit der Öffnung der im Maschinenraum installierten Absauganlage gewährleistet. Nach dem Anschließen der Druckluft und der Energieversorgung, welche für das integrierte Absaugklappensystem im Schneidisch nötig ist, kann die Bearbeitung starten.

1.3 Warum angetriebene Wechseltische?

Innerhalb des Rüstprozesses der Plasmaschneidanlage gehört die Bedienung des Schneidtischsystems zum täglichen Aufgabengebiet. Bevor der sechs Tonnen schwere Tisch bestückt werden kann, ist er 12m auf ebener Fahrbahn aus der Maschinenhalle herauszuschieben. Bei normaler Auslastung der Anlage, innerhalb einer Schicht, erfolgt dies bis zu zehnmal pro Tag. Erschwerend kommt hinzu, dass sich für den einzelnen Tisch eine Höchstlast von 15t bei voller Beladung einstellen kann.

Zur Bewältigung der Aufgabe bringt sich der Mitarbeiter hinter den Tischen in Position und drückt mit aller Kraft gegen die Rückwand der Schneidtische. Nach anfänglichem Stillstand setzt sich der Tisch langsam in Bewegung. Wichtig ist die Schubkraft solange zu erhöhen, bis die Beschleunigung für eine gleichmäßige Fahrgeschwindigkeit ausreicht. Ist der Tisch einmal in Fahrt, genügt ein geringerer Kraftaufwand um die Bewegung aufrechtzuerhalten. Voraussetzung dafür ist jedoch eine konstant ebene Fahrbahnbeschaffenheit. Außerdem sind ein kontinuierliches Abdrücken der Füße vom Fußboden und ein ständiger Druck mit den Händen an den Schneidtisch erforderlich, um die nötige Kraft aufrechtzuerhalten.

Auf den ersten Blick kommt die Frage auf, worin nun das Problem besteht. Für den Maschinenbediener wird das recht schnell deutlich. Die hohe zu bewegende Masse bewirkt bei ungenügender Anschubkraft am Anfang, dass der Tisch stehen bleibt. Das heißt einer ungeübten Person gelingt es nicht auf Anhieb den Tisch fortzubewegen, da die dafür notwendige Kraft noch nicht bekannt ist.

Ein weiterer Punkt liegt in einer möglichen Störung der Fahrt. Sobald der Bediener innerhalb des Bewegungsvorgangs nur kurz innehält (z.B. wegen des Zurufs durch einen Kollegen) wird die Geschwindigkeit derart verlangsamt, dass der tonnenschwere Tisch zum Stillstand kommt. Infolge ist ein erneutes Anschieben des Tisches nötig und der mit hohem Kraftaufwand verbundene Startprozess beginnt von vorn. Es erhöht sich also die Anzahl der Fahrbewegungen pro Arbeitstag bei Störungen im Ablauf. Dass bei ständigem Anschieben und Abbremsen eine erhöhte Ermüdung auftritt, ist nachvollziehbar. So kann es dazu kommen, dass der anfänglich machbare Anschubvorgang nicht mehr realisiert werden kann. Erst nach einer Erholphase ist ein Bewegen erneut möglich.

Ein Beispiel soll die Kraftanstrengung erläutern. Durchschnittliche Pkw (Kleinwagen) haben ein Gewicht von ca. 1200kg. Um den Wagen ohne Motor ebenerdig zu bewegen, ist genügend Anschubschwung nötig. Die Anstrengung dabei ist für jeden vorstellbar oder im Selbstversuch nachzuvollziehen. Dem Gewicht des Pkw steht das Schneidtischgewicht von 6000kg gegenüber. Somit ist die Anstrengung, trotz einer anderen Rad - Fahrbahnpaarung (Guss – Stahl zu Gummi – Asphalt), ungleich höher. Man erkennt die Schwierigkeit der Aufgabe anhand der zu bewegenden Massen.

Die Berechnung nach Formel 1 liefert die entsprechenden Kraftwerte für die Rollreibung am Rad. Nimmt man für den Pkw einen Raddurchmesser von 600mm an (Reifengröße 175/80 R14) und setzt den Widerstand der Rollreibung für die Werkstoffe Gummi – Asphalt auf 4,5mm (aus Tabellenbuch Metall des Europa Verlags), ergibt sich eine Kraft von 45N pro Rad. Für das gesamte Fahrzeug beträgt der Rollwiderstand 180N (Formel 2).

$$F_r = \frac{f \cdot F_N}{r}$$

Formel 1 Rollreibungskraft

F_r = Rollreibungskraft [N]

F_N = Normalkraft [N] (Radlast)

f = Rollreibungszahl [mm]

r = Radius des Rads [mm]

$$F_w = F_r \cdot 4$$

Formel 2 Fahrwiderstand

F_w = Fahrwiderstand [N]

Die Rechnung berücksichtigt keine weiteren auftretenden Reibungswerte am Fahrzeug wie zum Beispiel die Lagerreibung. Deshalb ist der reale Rollwiderstand des Fahrzeugs insgesamt wesentlich höher. Gleiches gilt für die Rechnung am Wechseltisch. Hier beträgt der Raddurchmesser 160mm und die Rollreibungszahl $f = 0,6\text{mm}$ für die Paarung Guss - Stahl. Der 6000kg schwere Tisch hat somit im Leerzustand einen Fahrwiderstand von 450N. Der Vergleich der beiden Werte gibt ein Gefühl für die doppelt so hohe Kraftanstrengung beim Verschieben der Wechseltische. Umgerechnet in Kilogramm sind rund 20kg am Pkw zu drücken gegenüber 50kg am Wechseltisch.

Für den Bediener stellt sich bei dieser täglichen anstrengenden Arbeit sehr schnell die Frage nach einer Vereinfachung des Arbeitsprozesses. Zumal die benötigten Kräfte um den Tisch in eine Bewegung zu überführen weitaus höher liegen als die am Beispiel ermittelten Werte. Nimmt man den doppelten Fahrwiderstand an, verursacht durch weitere Reibwerte wie Lager- und Spurkranzreibung, sind schon 900N aufzubringen.

Ein Blick in die DIN 33411 – 5:1999-11 mit den ermittelten maximalen statischen Aktionskräften des Menschen zeigt, dass der Wert von 900N schon an der Grenze der möglichen Kräfte für das vorwärts Drücken liegt. In der Norm wurde eine ausgewählte Personengruppe untersucht, hinsichtlich der Ausübung einer Kraft in einer vorgegebenen Anordnung. Der 95. Perzentilwert in Tabelle 15 der DIN liefert in der Anordnung mit nebeneinander stehenden Füßen und 1000mm Abstand zum Kraftangriffspunkt einen Maximalwert von 940N. Interpretiert bedeutet diese Angabe, dass nur 5% der getesteten Personen in der Lage waren, eine größere Kraft aufzu-

bringen und die restlichen 95 Prozent niedrigere Werte erreichten. Die Beispielhaften 900N wären ausgehend vom 95. Perzentilwert somit nur von rund zehn Prozent zu schaffen. Es zeigt sich, dass die Bedienung des Wechseltischsystems nur von einem sehr geringen Personenkreis problemlos ausgeführt werden kann.

Die Schwierigkeit der manuellen Bedienung der Wechseltische ist deshalb Gegenstand dieser Bachelorarbeit. Die Motivation und die Aufgabe besteht darin, eine geeignete Antriebslösung zu erarbeiten. Die Variante Zentralantrieb wird anhand von Vorbetrachtungen favorisiert. Hier soll ein Antriebsmotor über eine Wellenverbindung die beiden hinteren Räder des Wagens antreiben. Diese wird im Folgenden so weit ausgearbeitet, dass eine Umsetzung der Lösung jederzeit problemlos beginnen kann.

In der derzeitigen Bedienung des Tischsystems ist der Sicherheitsaspekt wenig berücksichtigt. Durch den manuellen Betrieb sind die Fahr- und Bremsvorgänge stark abhängig vom Bediener. Das heißt, in einer Gefahrensituation ist der Tisch ausschließlich durch die Muskelkraft zum Stehen zu bringen. Etwaige Kollisionen sind so stets nur durch die Umsicht und Vorsicht der Mitarbeiter zu verhindern. Unter diesem Aspekt besteht auch der Anspruch dieser Arbeit, die Sicherheit innerhalb des Rüstprozesses am Wechseltischsystem entscheidend zu verbessern. Deshalb wird eine Sicherheitsbetrachtung des vorhandenen und des geplanten Systems durchgeführt. Anhand dessen ergeben sich abschließende Konstruktionsdetails. Die Konstruktion wird vollständig erläutert, inklusive eines Montage- und Projektplans. Anschließend erfolgt eine Aufstellung aller zu erwartenden Kosten. Im Abschluss wird der derzeitige Projektstand mit einem Ausblick dargelegt. Dabei wird der erarbeitete Inhalt der Arbeit noch einmal reflektiert und für die folgenden Schritte überdacht.

2 Grundlagen für die Antriebskonstruktion

2.1 Abmessungen des Tischsystems

Der Aufbau des Systems ist durch die Verlegung zweier Schienenstränge gekennzeichnet auf dem die beiden Tische getrennt voneinander verschiebbar sind. Ausgeführt sind diese nach DIN 536 A. Die Schienenlänge beträgt 17000mm, die Höhe 55mm und der Schienenkopf ist 45mm breit. Der mittige Abstand eines Schienenstranges beträgt 1900mm. Von Strang zu Strang ist der Abstand mit 2400mm gegeben. Im Boden eingelassen sind die Schienen mit Klemmplatten verschraubt. Das heißt die Oberkante des Fußbodens ist gleich der Oberkante der Schiene, wie in Abbildung 2 und 3 zu sehen ist.

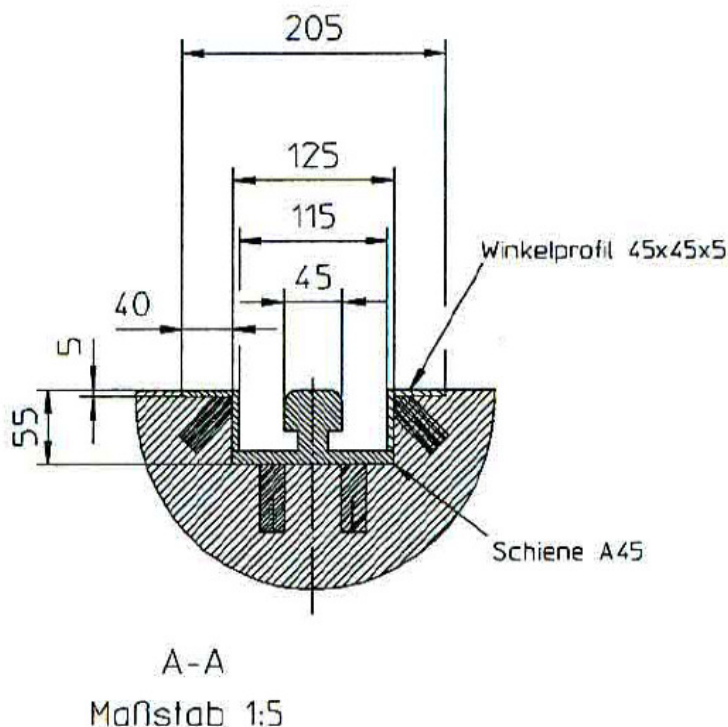


Abbildung 3 Schienenprofil in der Ausführung nach DIN 536 – A

(Dokumentation Plasmaanlage, AMS Technology GmbH)

Als Werkstoff wurde E360 Stahl eingesetzt. Die Laufräder der Fahrwagen sind aus einem Sphäroguss mit der Bezeichnung GJS 700-2. Daraus ergibt sich eine Stahl/Guss Werkstoffpaarung für Schiene und Laufrad. Mit einem äußeren Durchmesser von 190mm befinden sich jeweils vier Laufräder an einem Fahrwagen. Die Räder sind so genannte Spurkranzräder, denn die Laufflächen sind 15mm tief und 60mm breit auf einen Durchmesser von 160mm ausgedreht. Dadurch wird eine sichere Führung der Räder, bei einem Seitenspiel von $\pm 7,5\text{mm}$, auf der Schiene gewährleistet. In den Rädernaben der hinteren Räder befindet sich ein Vielkeilprofil mit Evolventenverzahnung nach DIN 5480 – 45x2x21 im Toleranzfeld 7H. Für die Antriebslösung kommt somit nur eine Zahnwelle in dieser Ausführung in Frage.

Der eigentliche Fahrwagen, zu sehen in Abbildung 4, beinhaltet die Radaufnahme mit den Laufrädern und dem Grundgestell aus I-Trägern zur Aufnahme des Schneidtisches. Zum Einsatz sind breite Stahlträger nach DIN 1025-2 – S235JR-IPB 160 gekommen. Die Grundabmessungen des Fahrwagens, mit eingeschweißter Radaufnahme und montierten Rädern, sind in Länge x Breite x Höhe mit 4120 x 4250 x 300mm gegeben. Ausgelegt ist der Fahrwagen für eine Lastaufnahme von bis zu 15000 kg. Sein Eigengewicht beträgt 1768 kg.

Auf dem Fahrwagen befindet sich der Schneidtisch, welcher für die Werkstückaufnahme vorgesehen ist. Der Schneidtisch selbst hat ein Gewicht von 4070 kg. Mit 4120 x 4200mm ist der Tisch 50mm schmaler als der Fahrwagen. So ist eine genügende Auflage der insgesamt 16 Auflagepunkte des Tisches auf dem Fahrwagen garantiert. Aus der maximalen Werkstückgröße von 4000 x 4000 x 70mm kann die größtmögliche Beladung ermittelt werden. Sie ergibt sich mit einem Betrag von 8792kg aus dem Produkt der Dichte für Stahl mit 7,85 kg/dm³ und dem Volumen der Blechabmessung 4000 x 4000 x 70mm mit 1120 dm³.

Ein höheres Beladungsgewicht ist für die Zukunft ausgeschlossen. Denn selbst bei einer Erhöhung der schneidbaren Blechdicken durch verbesserte Schneidtechnologien wäre der Aufwand der notwendigen Änderungen an der Anlage im Verhältnis zum wirklichen Nutzen in der Praxis zu groß. Es ist jetzt schon eine Dicke von 100mm in Stahlblech schneidbar. Doch innerhalb der AMS werden hauptsächlich nichtrostende Edelstähle mit maximal schneidbaren Blechen von 70mm und nur in Ausnahmefällen andere Stahlsorten verarbeitet.

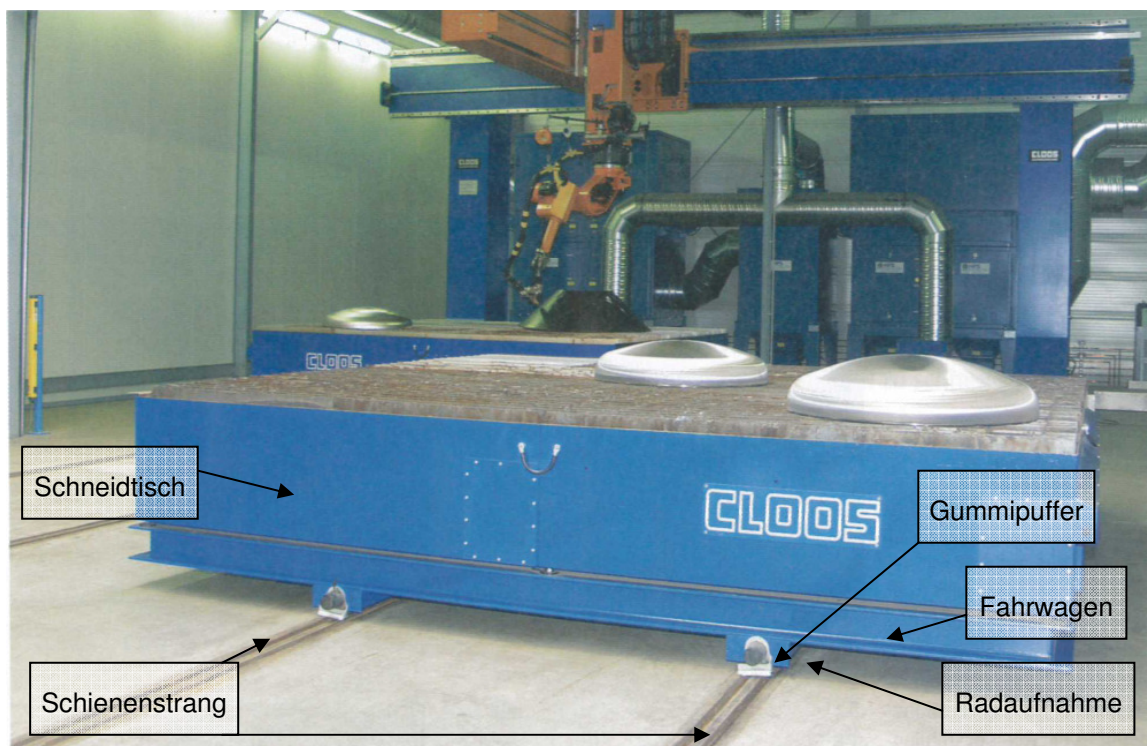


Abbildung 4 **Wechseltisch außerhalb der Anlage**
(Firmenfoto, AMS Technology GmbH)

In der Endlagenposition innerhalb der Anlage werden die Schneidtische durch ein mechanisches Rastsystem arretiert. Das System ist am Fahrwagen montiert und funktioniert durch das Einfallen von Klauen in eine Halterung. Im Betonboden ist dafür pro Schiene je ein Lagerbock, bestehend aus einem Stück I - Träger mit einer vorstehenden Lasche, fest verankert. Beim Einfahren auf den Lagerbock rastet dabei je eine Klaue durch Federkraft in die Laschen ein und die Endlage ist erreicht. Um die Tische aus der Anlage herauszubewegen, muss die Sperre wieder gelöst werden. Die beiden Klauen sind an einem 4250mm langen Rohr angeschweißt. Das Rohr ist drehbar gelagert und mit einem Hebel versehen. Die eingespannte Druckfeder, welche die Klauen nach unten drückt, lässt sich mit diesem entspannen und die Arretierung ist aufgehoben. Da beide Tische getrennt voneinander verfahrbar sein müssen, ist an jedem Tisch ein Rastsystem angebracht.

Außerhalb der Anlage ist die Endlage lediglich durch das Ende des 17000mm langen Schienensystems gegeben. Eine Arretierungsvorrichtung ist nicht vorhanden. An den Fahrwägen sind vorne und hinten je 2 Gummipuffer im Abstand des Spurmittenmaßes der Schienen montiert. Beim Fahren in die Endlage wird so die Fahrbewegung gestoppt. An gleicher Position angebracht sind Bürsten zur Reinigung des Schienenstranges (siehe Abbildung 4).

2.2 Betriebsdaten

In vorhergehenden Untersuchungen wurde die Thematik hinsichtlich des Ist - Zustandes der Anlage bearbeitet. In diesen Vorbetrachtungen wurde die Schubkraft ermittelt und eine Bestandsaufnahme des Fahrbahnzustandes durchgeführt.

Die Messung der erforderlichen Schubkraft zur Beschleunigung des Tisches ergab zunächst eine Abweichung der Kräfte beim Bewegen des linken und rechten Tisches. Der sich mit Blick aus der Anlage rechts befindliche Tisch, nachfolgend Tisch 1 genannt, lässt sich leichter schieben als der linke, nachfolgend Tisch 2 genannt. Es ergaben sich für den Anschubvorgang im Mittel Kräfte von 812N links und 594N rechts. Die Mittelwerte sind aus den um 10N nach oben korrigierten Messwerten hervorgegangen. Denn das verwendete Messgerät Almemo 2390 – 8 der Firma Ahlborn besitzt eine Messungenauigkeit von $\pm 0,5\%$ vom Messbereichsendwert. Dieser liegt für den verwendeten Kraftaufnehmer Typ K – 1613 bei 2000N. Die Durchführungsanordnung und das für den Versuch erstellte Messprotokoll ist im Anhang 1 zu finden.

Mit den gemittelten und korrigierten Messwerten wurde für eine Antriebsauslegung der vorherrschende Fahrwiderstand ermittelt. Um die Tische im momentanen Zustand mit den unterschiedlichen Kräften sicher antreiben zu können wurde dabei die höchste auftretende Schubkraft für die Berechnung verwendet. Dies ist die gemittelte Kraft von Tisch1. Die Berechnung ergibt aus dieser Kraft zunächst eine experimentelle Reibungszahl μ_{exp} des Tischsystems. Durch Einsetzen der Werte in Formel 3

werden 0,0138 ausgerechnet. Eine rechnerische Ermittlung welche die Lager – sowie die Spurkranzreibung der Räder berücksichtigt bringt als theoretisches Ergebnis 0,0139 (Formel 4). Da beide Werte in etwa gleich sind wurde für die Berechnung von F_w ein μ – Wert von 0,014 verwendet. Der Fahrwiderstand F_w ist abhängig von der am System vorhandenen Reibung und der Masse der Tische. Mit Formel 5 ergibt sich für den leeren Tisch ein Widerstand von 824N. Bei voller Zuladung von 9t und der daraus resultierendem Gesamtmasse von 15t sind 2060N aufzubringen um die Fahrbewegung einzuleiten.

$$\mu_{\text{exp}} = \frac{F_{\text{schub}}}{F_g}$$

Formel 3 experimentelle Reibungszahl μ_{exp}

Legende

μ_{exp} = Reibung aus Versuch []

F_{schub} = Mittelwert der im Versuch ermittelten Schubkraft Tisch 1 [N]

$F_{g \text{ leer}}$ = Gewichtskraft leerer Tisch 58860N

$$\mu_{\text{rechn}} = \frac{2}{d} \cdot \left[\frac{d_w}{2} \cdot \mu_r + f \right] + c$$

Formel 4 rechnerische Reibungszahl μ_{rechn}

Legende

μ_{rechn} = rechnerische Reibung []

μ_r = Lagerreibungswert [] – gewählt 0,005

d = Raddurchmesser [mm]

d_w = Wellendurchmesser [mm]

f = Hebelarm der Rollreibung [mm]

c = Spurkranz- und Seitenreibungsbeiwert [] – gewählt 0,005

$$F_w = \mu \cdot F_g$$

Formel 5 rechnerischer Fahrwiderstand F_w

Legende

F_{w1} = Fahrwiderstand Tisch leer

F_{w2} = Fahrwiderstand Tisch beladen

μ_{rechn} = rechnerische Reibung []

$F_{g \text{ voll}}$ = Gewichtskraft beladener Tisch 147150N

$F_{g \text{ leer}}$ = Gewichtskraft leerer Tisch 58860N

Bei der Aufnahme der notwendigen Schubkräfte für die Bewegung der Tische ist bereits festgestellt worden, dass der linke Tisch mehr Kraft zum Schieben erfordert als der rechte. Die daraufhin erfolgte Prüfung der Schienen ergab eine Absenkung des Bodens um ca. 20mm in der Mitte der Fahrbahn und eine Abweichung der Geradheit. Als Grund für die größere Kraftaufbringung links wurde ein Schleifen der Räder mit den Spurkränzen an den Schienen ausgemacht durch die schlechte Geradheit der Schienen.

Weiterhin wurde die Ebenheit des Bodens und der Schienen untersucht. Hilfsmittel waren dabei ein Richtscheit und eine Wasserwaage. Das Richtscheit lag bei der Prüfung einmal auf dem Schienenkopf in Fahrtrichtung und einmal quer über die Schienen 90° zur Fahrtrichtung. Geprüft wurde jeweils ob ein Hoch- oder Tiefpunkt vorliegt, ob sich die Schiene und der Boden in Waage befinden und nach welcher Seite links und rechts der Schiene der Boden steigt oder abfällt.

Die Wichtigkeit der Untersuchung liegt in dem geplanten Direktantrieb der Räder mit Anschluss der Antriebswelle an die Radnaben. Da in jedem Fall ein Getriebemotor vorgesehen ist, liegt das Augenmerk auf dem Abstand Motorgehäuse - Abtriebswelle. Es ist darauf zu achten, dass dieses Maß nicht größer ist als der Abstand Radnabenachse zum Boden. Die maximale Spitzenhöhe muss daher kleiner als 80mm sein. Das Protokoll zur Prüfung der Fahrbahn findet sich in Anhang 2.

Der momentane Zustand des Schienensystems ergibt folgendes Bild. Im Blick auf die Untersuchung der Schienen in Fahrtrichtung ist der Zustand links und rechts als gleich zu bewerten. Bei Prüfung der Schienen stellte sich im Bereich von 0 bis 4700mm Länge eine Steigung der Fahrbahn um ca. 15mm heraus. Nach weiteren 4000mm fiel die Fahrbahn wieder auf einen Tiefpunkt um auf den nächsten 2000mm wieder anzusteigen. Insgesamt steigen die Schienenstränge auf der gesamten Länge an.

Gründe dafür sind zum einen ein möglicher Setzvorgang des Fußbodens an den Tiefpunkten der Schiene sowie eine ungenügende Montage der Schienen. Denn die Kipp- bzw. Hochpunkte befinden sich an den Stoßstellen der Schienen. Weiterhin sind die Senken auch durch den Arbeitsablauf zu erklären. Bei Bearbeitung stehen die Tische innerhalb der Anlage und nur zum Rüsten werden sie heraus geschoben. Der Bereich zwischen 6000 – 10000mm außerhalb der Anlage ist dabei der Standpunkt für das Be- und Entladen der Tische. Somit erklären sich die Tiefpunkte auf den Schienen, denn diese Bereiche sind mit dem Tischgewicht überwiegend belastet. Ihre Belastungszeit ist wesentlich höher gegenüber den anderen Bereichen der Schiene welche lediglich für einen Moment überfahren werden.

Die Auflage des Richtscheits 90° zur Fahrtrichtung quer über die Schienen ergab für die linke Seite jeweils ein gleich bleibendes Ergebnis. Die Schienenköpfe sind immer die höchsten Punkte des Schienenstranges. In der Mitte zwischen den Schienen und jeweils links und rechts daneben befindet sich immer ein Tiefpunkt.

Auf der rechten Seite ist innerhalb der Anlage direkt vor dem Tisch zwischen den Schienen ein Hochpunkt zu verzeichnen. Die Schienen sind hier die tiefste Stelle des Stranges. Erst im Bereich vor dem Rolltor ist der Zwischenraum wieder in einer Ebene mit den Schienen. Dies setzt sich bis zum Ende der Fahrbahn mit einer Tendenz zur Senke fort. Das Niveau der beiden Schienenstränge befindet sich links wie rechts in Waage.

Insgesamt ist zu sagen, dass der Fahrbahnzustand unproblematisch in Bezug auf die maximale Spitzenhöhe der Motoren ist. Vorausgesetzt das Maß liegt innerhalb der zulässigen 80mm. Denn im Bereich von 300mm links und rechts der Schiene ist der Boden stets abfallend. So ist auch der vorhandene Hochpunkt auf der rechten Seite nicht relevant. Die Motoren sollen planmäßig in der Nähe der Räder angebracht werden und kommen so nicht in den problematischen Bereich.

Im letzten Punkt der Zusammenstellung der Betriebsdaten des Wechseltischsystems wird Bezug auf die Ausfahrgeschwindigkeit genommen. In einem Selbstversuch wurde der unbeladene Tisch 1 aus der Anlage herausgeschoben. Um eine sicher Fahrbewegung zu erzielen kamen 2 Personen beim Schieben zum Einsatz. Geschoben wurde mit normaler nicht übermäßig großer Kraftanstrengung. Die Ausfahrtzeit für die 12m Strecke schwankte dabei in mehreren Abläufen um den Wert einer Minute. Die manuelle Ausfahrtzeit beträgt deshalb im Schnitt eine Minute. Zusammenfassend sind alle relevanten Betriebsdaten noch einmal in Tabelle 1 aufgeführt.

Betriebsdaten Wechseltischsystem						
Abmessungen in mm			Tischgewicht in kg		Lauftradpaarung	
Länge	Breite	Höhe	leer	6000	Rad	Guss GJS 700 -2
4120	4250	1000	beladen	15000	Schiene	Stahl E360
Bauraum			Fahrwiderstand		Fahrbahnlänge	
Radaufnahme			einzeln	gekoppelt	17000mm	
Länge	Breite	Höhe	leer:		Fahrgeschwindigkeit	
in mm	in mm	in mm	824N	1648N	v= 12m/min	
1160	1670	300	beladen:		Fahrzeit	
			2060N	4120N	12m Strecke:	ca. 60s

Tabelle 1 Betriebsdaten Wechseltischsystem

(eigene Darstellung)

2.3 Sicherheit im Ist – Zustand

Für die späterer Konstruktion erweist es sich als hilfreich, den momentanen Stand der Sicherheit am Wechseltischsystem zu betrachten. Denn daraus ergeben sich bei entdeckten Mängeln weitere Anforderungen an die Konstruktionslösung. Schaut man auf die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG ist eine vorhergehende Sicherheitsbetrachtung sogar notwendig, um in einem iterativen Prozess die Konstruktion schon in der Entstehung sicherheitstechnisch zu begleiten und Gefährdungen zu mindern.

Nach Artikel 5 Absatz 1a muss der Hersteller einer Maschine sicherstellen, dass diese vor dem Inverkehrbringen oder der Inbetriebnahme den im Anhang I der Richtlinie befindlichen grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen entspricht. Die Maschine ist im Fall der Plasmaschneidanlage mit dem Tischsystem

schon in Betrieb. Die gesamte Anlage trägt die CE – Kennzeichnung und ist somit nach den harmonisierten Normen der Maschinenrichtlinie konstruiert, gebaut und in Betrieb genommen worden. Doch die geplante Antriebskonstruktion kann eine wesentliche Änderung im Sinne der Richtlinie darstellen. Liegt die vor, ist die Änderung mit einem erneuten Inverkehrbringen der Maschine gleichzusetzen und die Richtlinie, mit ihren Sicherheitsanforderungen aus Anhang I, muss angewendet werden. Daher erfolgt eine Prüfung auf Vorliegen einer wesentlichen Änderung.

Die Vorgehensweise ist dem Anhang 3 dieser Arbeit zu entnehmen. Kurz gesagt sind fünf aufeinander folgende Fragen mit ja oder nein zu beantworten, welche darauf abzielen herauszufinden ob durch die Änderung neue Gefahren in der Anwendung der Maschine entstanden sind. Für das Wechseltischsystem wurde die Ermittlung mit nein beantwortet.

Es besteht keine wesentliche Änderung der Maschine. Die Funktion des Hin- und Herfahrens ist nach wie vor gegeben. Es wird lediglich der manuelle Antrieb durch einen elektrischen ersetzt. Der elektrische Antrieb ist als neue Gefährdung zu interpretieren. Da diese jedoch durch eine einfache trennende Schutzeinrichtung (Kabelisolierung, Motorkapselung) ausgeschlossen werden kann, ergibt sich wieder die Antwort des Vorliegens keiner wesentlichen Änderung. Es ist jedoch ratsam, bei der geplanten Antriebskonstruktion die Richtlinie begleitend anzuwenden. Denn auch der Betreiber welcher Maschinen für den Eigengebrauch nutzt und verändert, gilt als Hersteller nach der Richtlinie und hat somit Sorge für die Sicherheit der Anlage zu tragen. Deshalb werden die möglichen auftretenden Gefährdungen ermittelt, um im Konstruktionsprozess die Sicherheitstechnik mit einzuplanen. Die komplette Sicherheitsbetrachtung wird im Gliederungspunkt 4 bearbeitet.

Die manuelle Bedienung der Wechseltische in ihrem Ablauf wurde im 1. Kapitel schon angesprochen. Für die Analyse der möglichen Gefährdungen ist jetzt eine Aufstellung der Systemgrenzen und Betriebsarten erforderlich. Die Tische sind in ihrer Funktion für eine wechselseitige Bewegung auf dem 17000mm langen Schienensystem vorgesehen. Dabei sind sie zur Aufnahme der Werkstücke ausgelegt. Die räumliche Begrenzung erfährt das System durch die Schienenlänge und die Maschinenhalle mit herunter fahrbarem Rolltor. In Kapitel 2.1 ist die Begrenzung der Schienen innerhalb der Maschinenhalle durch die festen Endanschläge beschrieben. Außerhalb der Halle besitzt das Schienensystem keine solchen Endanschläge. Die Teilsysteme und ihre Überschneidungen werden aus Abbildung 5 ersichtlich.

Die Betriebsarten lassen sich in Einzel- und Koppelbetrieb einordnen. Untergeordnet ist jede Betriebsart in ihre Betriebszustände für den momentanen Arbeitsgang gegliedert. In der folgenden Tabelle sind die Zustände in der Spalte Teilfunktionen zu finden. Den Funktionen sind die jeweiligen Baugruppen zugeordnet und diesen wiederum die möglichen auftretenden Gefährdungen. Dazu gehören vor allem das Stoßen, Quetschen und in geringem Maße die elektrische Gefährdung.

Risikobeurteilung: Bestimmung der Genzen der Maschine		
Maschine: Wechseltischsystem der Plasmaschneidanlage; IST - Zustand Juli 2012		
Bestimmungsgemäße Verwendung, Verwendungsgrenzen:		
Das Wechseltischsystem ist ausschließlich zum aufnehmen von Blechen, Behälterböden, Rohren und anderen für den Plasmazuschnitt geeigneten Werkstücken zu verwenden. Die Tische sind nicht als Lagerplatz, Auflagebock oder Transportgerät vorgesehen.		
Die auf dem Schienensystem durch Spurkranzrollen gelagerten Tische sind zum wechselseitigen Verfahren ausgelegt. Während der Bearbeitung eines Werkstücks innerhalb der Maschinenhalle kann der andere einzeln ausgefahrenen Tisch bestückt werden.		
Ein gekoppelter Betrieb ist durch das Schließen eines Hebels an der Vorderseite der Tische möglich. Während der Verfahrbewegung ist das Rolltor der Maschinenanlage offen zu halten.		
Räumliche Grenzen:		
Systeme sowie die Einflüsse, welche die Systemgrenzen überschreiten, sind auf der folgenden Zeichnung eingezeichnet		
Verwendung im Einzelbetrieb:		
Teilfunktionen	Baugruppe	Gefährdung
Endlagensicherung lösen	Klauensystem	Stoßen, Quetschen
Medien Tischabsaugung abstecken	Harting- , Druckluftstecker	elektrische Gefährdung
Bewegung auslösen	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
Herausfahren	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
abbremsen auf Standposition	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen
Bewegung auslösen	Klauensystem	Stoßen
Einfahren in Maschinenhalle	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
abbremsen, positionieren	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
Endlage sichern	Klauensystem	Quetschen, Stoßen
Medien Tischabsaugung anstecken	Harting- , Druckluftstecker	elektrische Gefährdung
Verwendung im Koppelbetrieb:		
Teilfunktionen	Baugruppe	Gefährdung
Hebel der Kopplung schließen	Koppelsystem	Stoßen, Quetschen
2x Medien Tischabsaugung abstecken	Harting- , Druckluftstecker	elektrische Gefährdung
beide Endlagensicherungen lösen	Klauensystem	Stoßen, Quetschen
Bewegung auslösen	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
Herausfahren	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
abbremsen auf Standposition	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen
Bewegung auslösen	Klauensystem	Stoßen
Einfahren in Maschinenhalle	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
abbremsen, positionieren	Schneidtisch, Fahrwagen	Quetschen, Stoßen
Endlage sichern	Klauensystem	Quetschen, Stoßen
2x Medien Tischabsaugung anstecken	Harting- , Druckluftstecker	elektrische Gefährdung
Hebel der Kopplung öffnen	Koppelsystem	Stoßen, Quetschen

Tabelle 2

Systemgrenzen der Wechseltische im IST- Zustand

(in Anlehnung an Springer Verlag, Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte)

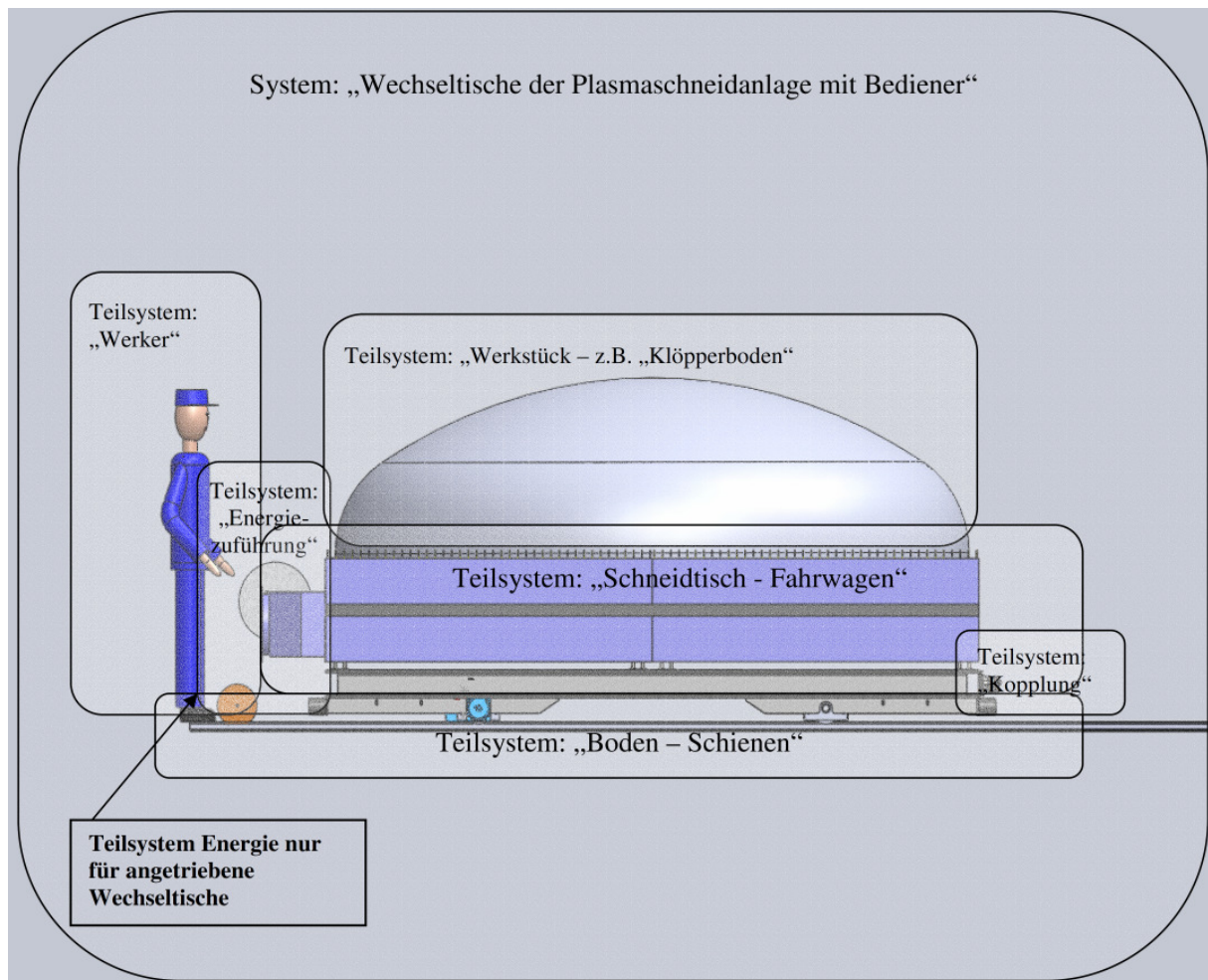


Abbildung 5 Räumliche Grenzen am Wechseltischsystem

(eigene Darstellung)

Die hauptsächlichen Gefährdungen ergeben nun die Eckdaten für den Ansatz von Schutzmaßnahmen. Im momentanen Zustand des Tischsystems ist der Maschinenbediener innerhalb der Systemgrenzen ohne Schutz den Stoß- und Quetschgefahren ausgesetzt. Nur die elektrische Gefährdung ist durch die Isolierung der Stromkabel für die Tischabsaugung gemindert. In den Schnittstellen zu den anderen Teilsystemen lassen sich folgende Gefährdungen auflisten:

- Stoßen, Quetschen durch herabfallende Werkstücke
- Stoßen, Quetschen mit dem Fahrwagen, innerhalb des Anschubvorgangs
- Stoßen, Quetschen im Zwischenraum der Schneidtische (gegenläufige Bewegung der Tische)
- Stoßen, Quetschen im Zwischenraum Tisch – Rolltor (Tordurchgang)
- Stoßen, Quetschen zwischen der Andockstation der Absaugung und dem Schneidtisch

Anhand dieser Liste und Tabelle 2 sind in der Konstruktionsausarbeitung entsprechende Maßnahmen zur Reduzierung der Gefahren einzuplanen. Diese Schutzmaßnahmen sind Anforderungen welche unbedingt erfüllt werden müssen.

2.4 Resultierende Anforderungen

Der Ist – Zustand der Anlage und die Betriebsdaten ergeben die Bedingungen für die Antriebslösung. Abmessungen der Tische und die vorhandene Bauart des Fahrwagens sind Grenzen innerhalb derer ein Antrieb erfolgen kann.

In der Grundfunktion sollen die Tische durch motorischen Antrieb auf den Schienen bewegt werden. Ein Motor hat im Fahrwagen unterhalb der Schneidtische nur einen Einbauraum von 1160 x 1670 x 300mm (Länge x Breite x Höhe) zur Verfügung. Weiter darf die Spitzenhöhe des Motors aufgrund des Raddurchmessers nicht größer als 80mm sein. Auf Grund des vorhandenen Rades sind die Gestaltungsmöglichkeiten bezüglich der Antriebswellengeometrie gering. Durch das vorhandene Zahnwellenprofil 45 x 2 x 21 x 7H nach DIN 5480 in der Radnabe, wird eine zu dieser Form passende Ausführung der Welle zur Bedingung.

Wichtigste Anforderung an den Motor ist das Bereitstellen von genügend Kraft und Drehmoment für die Bewegung. Der Fahrwiderstand im beladenen Zustand eines Tisches muss demnach vom Motor mindestens überwunden werden. Das Drehmoment der Motorabtriebswelle soll direkt an den Radnaben des Fahrwagens eingeleitet werden und den Tisch antreiben. Um den Wert für das Mindestdrehmoment zu erhalten, ist eine Berechnung mithilfe des vorherrschenden Fahrwiderstandes anzustellen.

Die vollständige Rechnung ist im Anhang 4 aufgeführt. Es wird hier nur eine kurze Beschreibung des Rechenweges dargestellt. Das Drehmoment nach dem der Motor ausgelegt wird ist das Beschleunigungsdrehmoment. Dies ermöglicht den Tisch auf die entsprechende Nenngeschwindigkeit zu bringen. Abhängig ist das Drehmoment wesentlich von der gewählten Beschleunigung und dem Fahrwiderstand. Für den zentralen Antrieb der Tische wird anhand von Vorbetrachtungen, welche in den im Rahmen des Bachelorstudiums an der BA Glauchau erstellten Projektarbeiten 2 und 3 festgehalten sind, eine Beschleunigung von maximal $0,1\text{m/s}^2$ gewählt.

Aus der gewählten Beschleunigung wird im ersten Schritt die Zeit bis zum Erreichen der Nenngeschwindigkeit errechnet. Daraus ergibt sich dann der Beschleunigungsweg. Mit der Geschwindigkeit ist die Winkelgeschwindigkeit am Rad auszurechnen. Diese drei Werte werden dann zusammen mit dem Fahrwiderstand und der entsprechenden Masse des Tisches in die Formel für das reduzierte Massenträgheitsmoment eingesetzt. Ist dies berechnet kann abschließend das Beschleunigungsmoment am Antriebsrad errechnet werden. Dafür wird das reduzierte Massenträgheitsmoment mit dem Quotient aus Winkelgeschwindigkeit und Beschleunigungszeit multipliziert. Die Zusammenstellung der Berechnungswerte ist in Tabelle 3 zusehen.

Für die Rechnung ergab sich die Nenngeschwindigkeit aus den Betriebsdaten der Tische. In der manuellen Bedienung ist ein Tisch innerhalb von 60 Sekunden 12m aus der Anlage heraus geschoben. Dies entspricht einer Geschwindigkeit von

12m/min. Es ergibt sich durch logische Schlussfolgerungen, dass ein motorischer Antrieb nicht wesentlich langsamer sein soll als der manuelle. So wurde für die Nenngeschwindigkeit ein Wert von 10m/min, als Eckpunkt für die Motorauswahl festgelegt. Die Gegenüberstellung verschiedener Motorkonzepte, nachzulesen in den Projektarbeiten, mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten führte hauptsächlich zu dieser Entscheidung.

Fahrwiderstand	Masse	Beschleunigung
$F_{w1} = 824\text{N}$	$m1 = 6000\text{ kg}$	$a1 = 0,2\text{ m/s}^2$
$F_{w2} = 2060\text{N}$	$m2 = 15000\text{kg}$	$a2 = 0,1\text{ m/s}^2$
		$a3 = 0,05\text{m/s}^2$
Erläuterung:		$M_{be11} =$ Beschleunigungsmoment bei $a1$ und F_{w1}
Beschleunigungsmoment am Antriebsrad in Nm		
$M_{be11} = 162$	$M_{be21} = 114$	$M_{be31} = 90$
$M_{be12} = 405$	$M_{be22} = 285$	$M_{be32} = 225$

Tabelle 3 Beschleunigungsmomente

(eigene Darstellung)

Als Richtwert in den technischen Daten des Antriebsmotors muss somit anhand der berechneten Beschleunigungsmomente ein Mindestabtriebsdrehmoment von 285Nm bei vollem Fahrwiderstand und einer Beschleunigung von $0,1\text{m/s}^2$ vorhanden sein. Bei kleinerer gewählter Beschleunigung reicht ein Moment von 225Nm.

Um ein solches Drehmoment direkt an der Radnabe zu erzeugen, ist ein Getriebe notwendig. Demnach ist für die Konstruktion zwingend ein Getriebemotor zu verwenden. Das Getriebe hat dabei das Eingangsdrehmoment des Elektromotors auf das geforderte Abtriebsdrehmoment zu übersetzen. Außerdem ist das Übersetzungsverhältnis des Getriebes für die Drehzahl an der Motorwelle verantwortlich.

Da für den Zentralantrieb die Räder direkt angetrieben werden sollen, ergibt sich aus der Nenngeschwindigkeit und dem Raddurchmesser die nötige Abtriebsdrehzahl der Motorwelle. Bei 10m/min Geschwindigkeit erhält man eine Drehzahl von 20U/min. Die technischen Eckdaten des Getriebemotors müssen demnach diese Drehzahl und das für die Fahrbewegung ausreichende Drehmoment enthalten.

Alle Anforderungen an die Antriebskonstruktion werden in der Anforderungsliste zusammengefasst. Diese Liste ist bindend und stellt die durch das Antriebssystem zu erfüllenden Punkte dar. In der Zusammenstellung, im Anhang 5 – 6, kommen neben den Forderungen noch Wünsche vor, welche zu einer praktikableren Lösung führen. Wünsche sind jedoch nicht zwingend zu erfüllen. Einige Wünsche sind z.B. die Wartungsfreiheit der verwendeten Komponenten, Endlagenschalter zur Absicherung der festen Lage in der Maschine oder eine Umschaltung zwischen zwei Geschwindigkeiten (schnell – langsam).

Nachfolgend sind die wichtigsten Forderungen aufgeführt:

- Antrieb über Drehmoment an den hinteren Rädern mit zentralem mitfahrenden Antriebsmotor
- Schneidtische müssen einzeln und gekoppelt angetrieben werden können
- maximaler Bauraum zwischen den Radblöcken und Spitzenhöhe von 80mm beachten
- Antriebswellen in Normausführung
- Beschleunigung nicht größer als $0,1 \text{ m/s}^2$
- Nenngeschwindigkeit 10 m/min
- Positioniergeschwindigkeit für Endlagen $\ll$ Nenngeschwindigkeit
- regelbare Drehzahl über einen Frequenzumrichter (FU)
- mechanische Motorbremse muss als Haltebremse vorhanden sein
- Not - Halt – Einrichtung
- Sicherheitsbauteile zur Verhinderung Kollision Mensch - Maschine
- Quetschgefahren während der Tischbewegung verhindern
- Energiezuführung über Federleitungstrommel
- mitgängergeführte Bedienung

Die Anforderungen an das Antriebssystem stehen durch die Festlegung in der Anforderungsliste fest. Begleitend zur Konstruktionsausarbeitung ist stets zu prüfen, ob die Lösungen den Richtwerten der Liste entsprechen. Beim Auftreten von Problemen oder neuen Lösungsansätzen ist die Übereinkunft mit den Anforderungen zu prüfen und gegebenenfalls die Forderung zu ergänzen bzw. zu ändern.

3 Antriebskonstruktion

3.1 Zentralantriebsvariante

3.1.1 Auswahl

In der Beschreibung der Betriebsdaten und der Anforderungen an die Konstruktion ist zu erkennen, dass die Zentralantriebsvariante aus einem, in den Vorbetrachtungen der Projektarbeiten erstellten, Variantenvergleich als Favorit hervorgeht. Grundlage dieses Vergleichs war eine Auflistung aller benötigten Komponenten für die Umsetzung der jeweiligen Variante. Daraus ergaben sich, durch die Hinterlegung von konkreten Angeboten für die Motoren und anderen Baugruppen, die jeweiligen Kosten pro Variante. Die Zentralantriebsvariante war dabei mit 16098 Euro insgesamt die zweit teuerste Variante neben der Vergleichslösung mit einem Einzelradantrieb. Eine Differenzierung in den Varianten wurde durch zwei verschiedene Geschwindigkeiten und der Anzahl der Motoren getroffen. Beim Einzelradantrieb wird pro Rad ein Motor angebracht, der Zentralantrieb benötigt nur einen Motor für den Antrieb beider Räder. Die beiden betrachteten Geschwindigkeiten waren 5m/min und 10m/min.

Gründe für die hohen Kosten des formal günstiger vermuteten Zentralantriebs sind in den speziellen Randbedingungen des Wechseltischsystems zu finden. Die Radblöcke haben ein Nabenprofil mit 45er Evolventenverzahnung. Ein passender Getriebemotor hat hingegen nur ein Zahnprofil mit 35mm Durchmesser. Der größere Getriebemotor mit für die Radnaben passender Welle kann durch seine negative Bodenfreiheit von –10mm nicht verwendet werden. So entstehen für die Lösung extra Kosten für den Austausch der Räder von Nabenprofil 45 x 2 x 21 x 7H auf 35 x 2 x 16 x 7H nach DIN 5480. Dieser Austausch erhöht auch den Montageaufwand, was weitere Kosten verursacht.

Dass der Zentralantrieb trotz höherer Kosten zum Favorit erklärt wurde ist in einem technischen und wirtschaftlichen Vergleich begründet. In diesem wurde der technische und wirtschaftliche Nutzen der Varianten miteinander verglichen (siehe Anhang 7 – 8). Dabei wurden für die verschiedenen Kriterien Punkte von 0 für unbefriedigend bis 4 für sehr gut vergeben. Das Bewertungssystem entstammt der VDI-Richtlinie 2225. Anhand dessen wurden technische und wirtschaftliche Wertigkeiten ermittelt und abschließend zur Veranschaulichung in einem Diagramm abgebildet.

Laut Diagramm ist die beste Lösung die Variante 1a, ein Einzelradantrieb mit 5m/min Geschwindigkeit. Doch aufgrund der Kriterien Verbesserungsgrad und Wartungsaufwand erhält der Zentralantrieb die höhere technische Wertigkeit (vgl. Anhang 7). Um den schlechteren wirtschaftlichen Wert zu erhöhen und die Lösung 2b näher Richtung idealer Lösung zu bringen sind in der Konstruktionsausarbeitung die Kosten zu senken. Da dieses Ziel erreichbar ist wurde die Zentralantriebsvariante als Favorit aus diesem Vergleich ausgewählt und wird nun weiter bearbeitet.

3.1.2 Merkmale

Die ausgewählte Lösung zur Umsetzung des Antriebsproblems zeichnet sich durch die Verwendung einer Verbindungswelle zwischen beiden Radblöcken des Fahrwagens aus. Ein über eine Steckwelle am Radblock angebrachter Getriebemotor treibt die Verbindungswelle an. Eine starre Kupplung in Form einer Hülse sichert die Kraftübertragung von der Steckwelle auf die Verbindungswelle. Das System Zentralantrieb ist schemenhaft in Abbildung 6 zu sehen.

Da am Fahrwagen Radblöcke der Firma Demag eingebaut sind ist für den Zentralantrieb der gleiche Hersteller als Anbieter ausgewählt worden. Vorteil dabei ist die Passgenauigkeit der Wellen zum verwendeten Rad. Wie bereits erwähnt muss das vorhandene Rad mit 45mm Durchmesser Zahnwellenprofil gegen das nächst kleinere getauscht werden. So ergibt sich das Laufrad mit der Bezeichnung DRS-160-MA35-A-60-K-X-X. Der passende Demag – Flachgetriebemotor wird bezeichnet mit AUK 30 DD-B14.0-35-1-62.2 ZBA 80 B 4 B007. Die ersten drei Kennbuchstaben der Beschreibung besagen dabei das ein Flachgetriebe(A) in Universalbauform(U) und einer Vollwelle mit Evolventenverzahnung(K) vorliegt. Die Steckwelle am Motor ist im Durchmesser 35mm groß und besitzt ein Zahnwellenprofil 35 x 2 x 16 x 6g nach DIN 5480. Aus der Bezeichnung lässt sich auch das Übersetzungsverhältnis des Getriebes herauslesen. Die letzte Ziffer vor der Motornummer ZBA gibt das Verhältnis i mit 62,2 an. Bei einer Motordrehzahl von 1410 U/min ergibt sich damit eine Abtriebsdrehzahl an der Steckwelle von 22,7 U/min. Das Getriebe erfüllt dadurch die Forderung nach 10m/min Nenngeschwindigkeit ab.

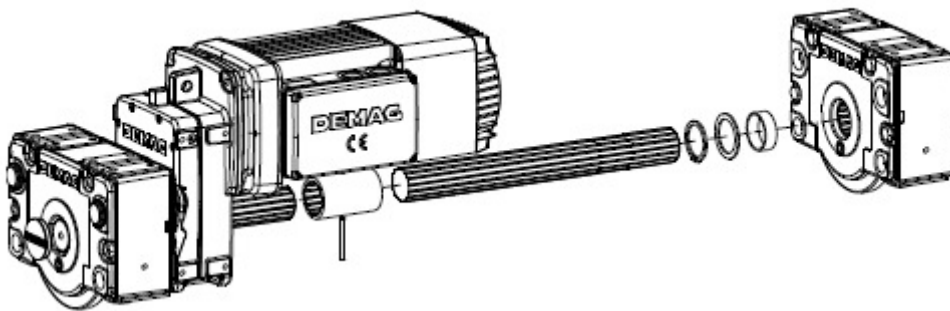


Abbildung 6 Zentralantrieb mit Verbindungswelle

(Demag Cranes & Components GmbH; Katalog Demag / Radblock – System DRS)

Der Motor besitzt eine Leistung von 0,75kW und erzeugt über das Getriebe ein Drehmoment von 317Nm. Mit der Übersetzung von 62,2 ergibt sich ein Drehmoment von 5,1Nm, welches der Elektromotor liefern muss um die 317Nm am Getriebeausgang zu erhalten. Aus den Herstellerangaben für diesen Antrieb ist bekannt, dass der Motor kurzzeitig zum Beschleunigen mit ca. 160% belastet werden kann. Das bedeutet der Elektromotor kann ein Eingangsdrehmoment von rund 8Nm für die Beschleunigung zur Verfügung stellen. Damit würde am Getriebe ein Abtriebsmoment von

498Nm anliegen. In den Berechnungswerten ist für eine Beschleunigung von $0,1\text{m/s}^2$ und dem voll beladenen Tisch nur ein Moment von 285Nm angegeben. Der Motor wird bei dieser Beschleunigung somit stets unter 100% belastet.

Ein für die Anwendung erstelltes Fahrdiagramm des Herstellers Demag enthält ein anderes Drehmoment. Der Rechnung wurde ein höherer Fahrwiderstand von 2526N zugrunde gelegt. Die Fahrbahnumgebung bekam eine Einordnung „sehr staubig“, woraus die herstellerspezifischen Reibwerte von 0,225 für die Gleitreibung und 0,3 für die Haftreibung hervorgehen. Mit diesen Werten ergibt dessen Rechnung ein Motordrehmoment am Getriebeeingang von 6,1Nm unter voller Last des Tisches. Durch die Übersetzung wird dabei das Rad durch die Abtriebswelle mit 379Nm angetrieben. In dem Fall erfährt der Motor eine Belastung von 120%, was immer noch im Toleranzbereich liegt. So ist nach beiden Rechnungen der Flachgetriebemotor mit seinem Nenndrehmoment ausreichend für die Anwendung.

In der Wertung der beiden Rechnungen ist zu sagen, dass die eigene Berechnung in der Ermittlung des Fahrwiderstands der Realität am Wechseltischsystem entspricht. Denn die Schubkräfte wurden experimentell ermittelt. Daraus ergaben sich die theoretische und experimentelle Reibungszahl des Systems, welche nahezu gleich sind. Das tatsächlich benötigte Drehmoment um den Tisch zu beschleunigen liegt damit im Bereich von 285Nm. Die Demag - Rechnung berücksichtigt jedoch auch weitere Verluste durch Reibung im Getriebe, in der Übertragung der Kraft auf die Räder, schwankende Verschmutzungsgrade der Fahrbahn oder erhöhte Lagerreibungen. Bei 90 Prozent Gesamtwirkungsgrad, wie ihn der Motorenlieferant angenommen hat, mindert sich das Nenndrehmoment von 317Nm am Getriebe auf 285Nm. Dies ist das theoretisch berechnete Mindestdrehmoment für die Beschleunigung. Unter diesem Aspekt ist das Betreiben des Motors mit 120% Belastung richtig. Abminderungen im Wirkungsgrad um 20% sind so abgedeckt.

Weitere Eckpunkte des Demag - Antriebs sind die vorhandene mechanische Haltebremse und die integrierte Handbremslüftung. Die Haltebremse ist so ausgelegt das beim Abschalten der Motorspannung ein Elektromagnet aufhört zu wirken. Daraufhin wird die Bremsscheibe durch Federkraft an die Reibscheibe gedrückt. Liegt aufgrund einer Störung in der Stromversorgung einmal keine Spannung an kann der Tisch nicht bewegt werden. Deshalb ist die Handbremslüftung am Motor angebaut. Damit kann über einen Hebel die Bremsscheibe gelüftet und in der Position arretiert werden. Eine manuelle Tischbewegung ist so wieder möglich. Über einen Mikroschalter kann die Hebelposition abgefragt werden. Dies ist wichtig damit der Motor nicht angesteuert werden kann wenn die Haltebremse gelüftet wird. Der Bremsvorgang soll zwar über die Regelung der Drehzahl durch einen Frequenzumrichter (FU) erfolgen, doch den endgültigen Halt des Tisches sichert die mechanische Haltebremse. Ist die Bremse noch gelüftet und arretiert, kann der sichere Halt nicht gewährleistet werden.

3.2 Ausarbeitung

3.2.1 Hilfsmittel, Methoden

Für die Bearbeitung der Antriebskonstruktion wurde vor allem das 3D CAD-System von Solid Works verwendet. Durch die Möglichkeit der Modellierung aller Baugruppen und anschließendem Zusammenfügen, konnten vorherige Probleme beim Fügen während der Montage erkannt und behoben werden. Außerdem war die 3D - Ansicht im CAD System hilfreich in der Bearbeitung der Sicherheitsfragen. Es konnte durch Einfügen eines Mensch-Modells in die komplette Wechseltischbaugruppe die Stellung zum Schneidtisch und zu den Gefahrenbereichen geprüft werden. Dadurch sind neue Lösungen entstanden, welche die Sicherheitsforderungen erfüllen (siehe 4.3.1). Weitere Hilfsmittel und Anregungen kamen aus folgenden Quellen:

- Grundlagen der Konstruktionslehre; Hanser Verlag
- Entwerfen und Gestalten; Hanser Verlag
- Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte; Springer Verlag
- Herstellerkataloge - Rücksprache mit den Anbietern (z.B.: Demag)

3.2.2 Mechanik – Baugruppen

Um das vorhandene Antriebskonzept des Zentralantriebs umsetzen zu können ist es wichtig, alle vorhandenen Teile und Baugruppen in Fertigungszeichnungen festzuhalten. Sind alle Komponenten zusammen, muss die Stückliste erstellt werden. Anhand derer kann im Fertigungsablauf überprüft werden, ob alle Materialien, Bauteile und auch Kaufteile gefertigt sind und für die spätere Montage zur Verfügung stehen.

Die mechanischen Baugruppen der Konstruktion bestehen aus 3 Hauptkategorien. Das sind der Antriebsstrang mit den Radblöcken und Wellen, die Energiezuführung mit den Halterungen für die Federleitungstrommel und die elektrische Steuerung mit den Schaltkästen.

Der Antriebsstrang besteht aus den Radblöcken und dem Getriebemotor mit den zugehörigen Wellen (vgl. Abbildung 6). Die Verbindungswelle, die Motorsteckwelle, die starre Kupplung und sämtliche Sicherungsmittel wie Scheiben und Sicherungsringe sind Lieferbestandteil des Motorenanbieters. Eine ebenfalls dazugehörige Komponente ist das Drehmomentstützenset. Dies beinhaltet eine an der Radaufnahme anzuschraubende Halterung und eine lange Schraube mit zwei Dämpfungselementen. Die Schraube hat dabei die Funktion den Motor über eine am Gehäuse angegossene Lasche zu halten. Beim Anfahren der Tische wird dann der Bewegungsdrang des Motors in Antriebswellendrehrichtung durch die Dämpfer gebremst.

Die Radblöcke sind Kaufteile. Davon werden lediglich die Laufräder benötigt. Der Anbieter Demag hat jedoch im Zuge einer günstigeren Preisgestaltung die kompletten Radblöcke angeboten. So kann innerhalb des Montagevorgangs entschieden werden ob die gesamten Radblöcke getauscht werden oder nur die Laufräder.

Die Energiezuführung an die Motoren soll über eine Federleitungstrommel erfolgen. Die genaue Beschreibung der Komponente und des Konzepts der Energiezuführung folgt im nächsten Gliederungspunkt. Für den Anbau der Trommel sind die angesprochenen Halterungen vorgesehen. Dazu gehören die Haltewinkel und Montageplatten. An der Rückwand der Schneidtische werden die Montageplatten angeschweißt. Dann können die Haltewinkel mit vier Schrauben am Tisch montiert werden. Weitere vier Schrauben halten die eigentliche Trommel an der Halterung (Abbildung 7). Dazu kommen noch zwei Bauteile. Das sind eine Umlenkrolle und deren Anschlussblech. Das Blech soll direkt mit der Trommel an deren Haltewinkel verschraubt werden. Funktion der Umlenkrolle ist die exakte Führung der Stromzuleitung im Zwischenraum der Schienen.

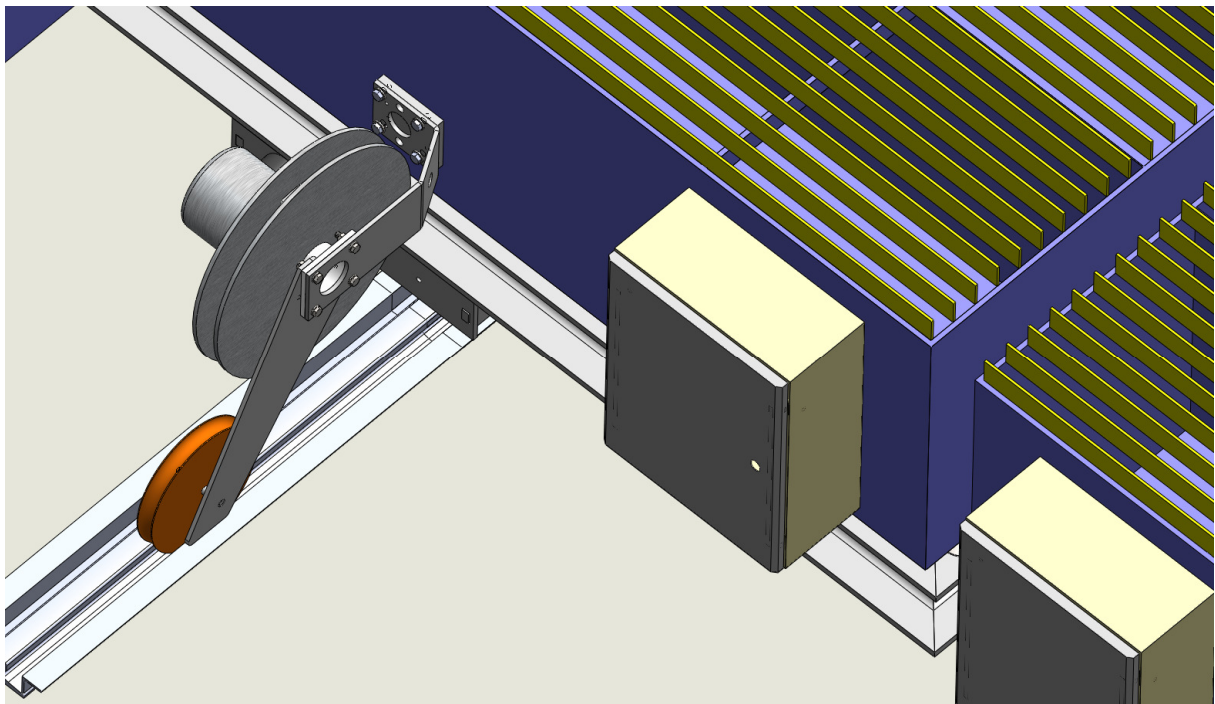


Abbildung 7 Ansicht Federleitungstrommel montiert
(eigene Darstellung)

Das letzte Element der drei Baugruppenkategorien ist die elektrische Steuerung mit den Schaltkästen und Bedienelementen. Von mechanischer Seite ist die Halterung der Schaltkästen zu entwerfen und zu fertigen. Dies soll mittels zweier einfach gestalteter Blechschienen geschehen. Angebracht werden die Kästen in Trommelnähe an der Rückwand der Tische. Da der Schaltkasten durch die Automatisierungsfirma bestellt wird, welche die Steuerung für das Tischsystem liefert, sind die Montage und die Anpassung der Halterung erst bei Auslieferung der Komponenten vorgesehen. Es werden lediglich Haltebleche in den Abmessungen des Kastens vorbereitet, die Befestigungsbohrungen werden dann an die Gegebenheiten angepasst. Weitere mechanische Bauteile für die Steuerung sind für den Bereich der Sensorik notwendig. Das sind ebenfalls individuell anzupassende Halterungen zur Montage der Endschalter und Initiatoren.

Die Fertigungszeichnungen für die verschiedenen Baugruppen und Teile finden sich im Anhang 9 - 14. Die komplette Stückliste für die Antriebskonstruktion ist ebenfalls darin zu finden. Die in den Listen enthaltenen elektrischen Komponenten ergeben sich anhand der Erläuterungen im nächsten Kapitel.

Die Stücklistengliederung ist nach den drei Hauptbaugruppen vorgenommen worden. Nicht direkt zu den Baugruppen gehörende Teile wurden fortlaufend nummeriert. Die Zugehörigkeit der Baugruppen und Einzelteile zur Gesamtkonstruktion ist aus folgender Zeichnung ersichtlich.

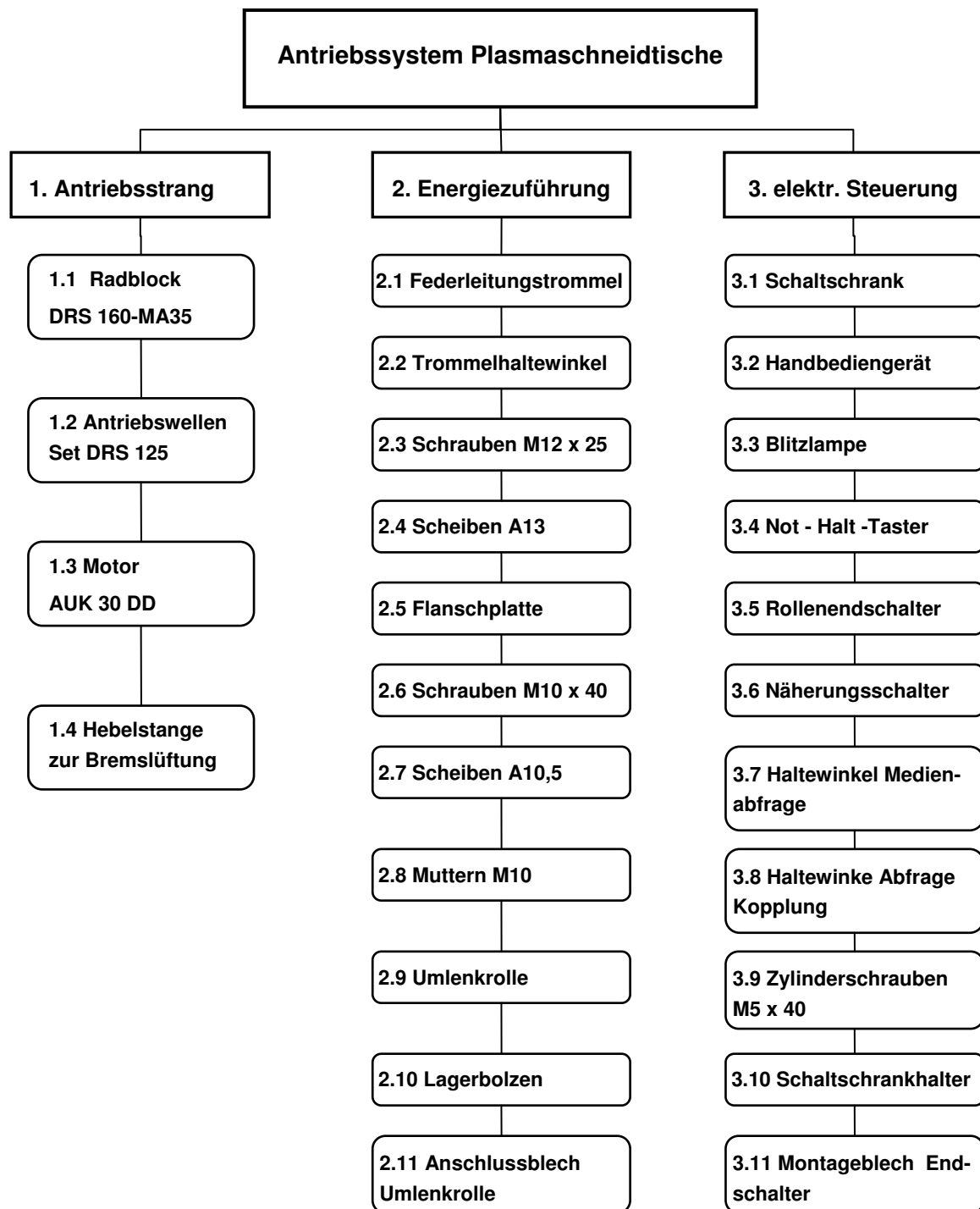


Abbildung 8 Baugruppengliederung
(eigene Darstellung)

3.2.3 Bedienungskonzept

3.2.3.1 Auslegung Energiezuführung

Im Antriebskonzept ist die Ansteuerung der Motoren durch je einen am Fahrwagen befindlichen Schaltkasten abgedeckt. Dem Schaltkasten selber soll der Motorstrom über ein aufzuwickelndes Stromkabel zugeführt werden. Die Grundanforderung der Tischbewegung macht eine bewegliche Stromzuleitung notwendig. Zum Einsatz kommt dabei eine Federleitungstrommel. Wie im vorherigen Abschnitt erklärt, wird diese über eine Halterung an der Rückwand der Schneidmaschine angebracht. Auf der Trommel soll dann nur die Stromzuleitung für den Schaltkasten aufgewickelt werden.

Das Kabel wird über die Umlenkrolle in den Schienen abgelegt. Der Zwischenraum der Schiene macht dies möglich. In Abbildung 3 ist das Schienenprofil zu sehen. Daraus ergibt sich ein maximaler Durchmesser für das Stromkabel von 30mm. Da nur die Stromzuleitung für den Motor abgelegt werden soll, handelt es sich um ein Kabel mit der Abmessung 5 x 1,5mm². Der Durchmesser beträgt hier rund 12mm. Die Umlenkrolle wird in den Schienenprofilzwischenraum eingesetzt. Ihre Funktion ist, das Kabel innerhalb dieser Nut zu führen und sicher am Boden abzulegen.

Für die Wickelbreite der Trommel zwischen den Ronden wurde ein Maß von 40mm gewählt. Im Gespräch mit dem Anbieter Brinkmann GmbH war zu erfahren, dass bei Verwendung einer Umlenkrolle deren Anordnung im richtigen Abstand zur Trommel zu beachten ist. Sechs mal Wickelbreite muss mindestens vorhanden sein. Bei Nichtbeachtung besteht die Gefahr des balligen Auftrommelns der Leitung. Das Kabel kann dabei über die beiden Ronden am Rand rutschen. Weiter kann während des Wiederabwickelns durch das hin- und her springende Kabel die Führung durch die Umlenkrolle Probleme bereiten. Deshalb die Reduzierung der Wickelbreite auf 40mm, auch um den Abstand der Umlenkrolle von der Trommel gering zu halten. In der Standardvariante des Herstellers ist eine Wickelbreite von 140mm vorgesehen (siehe Abbildung 9).

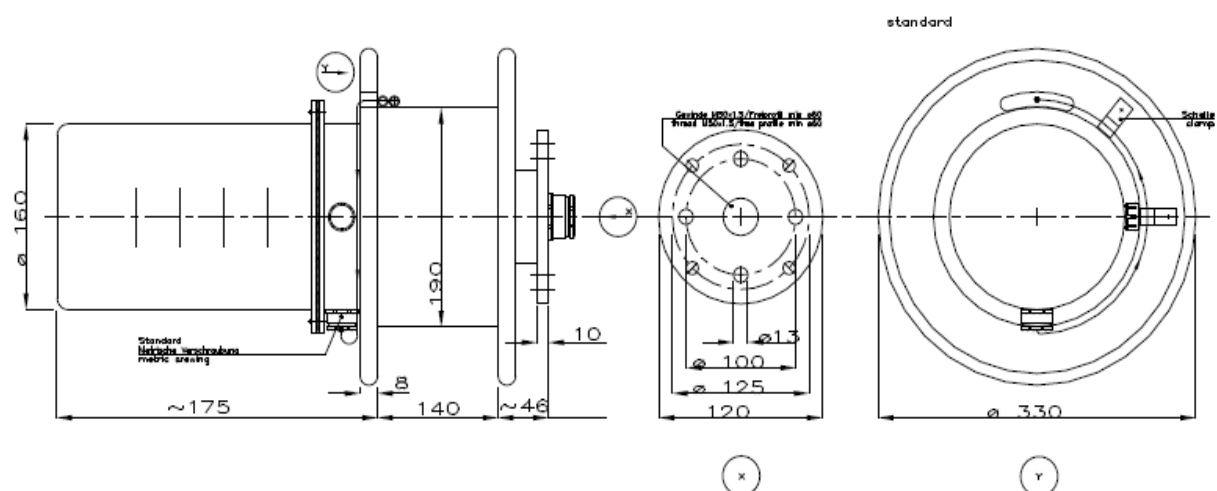


Abbildung 9 Federleitungstrommel in Standardausführung

(B. GmbH; Angebotszeichnung - Trommel für Kabel 5x1,5mm²)

Änderungen der Wickelbreite wirken sich auch auf den äußeren und inneren Durchmesser der Trommel aus. Die Begrenzungsrollen außen bekommen so ein Maß von $\varnothing 460\text{mm}$. Innen ändert sich der Durchmesser auf 280mm . Der Trommelabstand zum Schneidisch muss demnach mindestens im Bereich des Radius liegen. Festgelegt wird der Abstand vom Trommelmittelpunkt zur Schneidischrückwand mit 328mm . Damit ergibt sich, unter Berücksichtigung der geforderten sechsmal Wickelbreite, ein Abstand Mitte Umlenkrolle zum Schneidisch mit 568mm .

Insgesamt werden 15m Kabel aufgetrommelt. Die Fahrstrecke beträgt 12m bis zum Ende der Schienen. Den Angaben des Trommellieferanten ist zu entnehmen, dass jeweils zwei Sicherheitswindungen mit eingeplant werden müssen. Das ergibt bei einem inneren Durchmesser der Trommel von 280mm eine Leitungslänge der Sicherheitswindungen von $1,76\text{m}$. Resultierend erhält man mit einem Zuschlag von $1,24\text{m}$ für die Aufstellhöhe die 15m Wickellänge des Kabels. Die Aufstellhöhe der Kabeltrommel soll 500mm vom Boden bis zum Mittelpunkt betragen.

Das Ende der Leitung muss an einem Fixpunkt fest am Boden verankert sein. Ein so genannter Leitungsziehstrumpf erledigt diese Aufgabe. Die Lage des Leitungsfestpunktes am Boden richtet sich nach der vorhandenen Kabellänge und der Anordnung der Komponenten zueinander. Aus den Abständen der Trommel zum Schneidisch und der Umlenkrolle, ergibt sich ein Leitungsfestpunkt im Abstand von 1140mm zum Schneidisch, jedoch nur wenn die Tische eingefahren sind und sich in ihrer Endlage befinden.

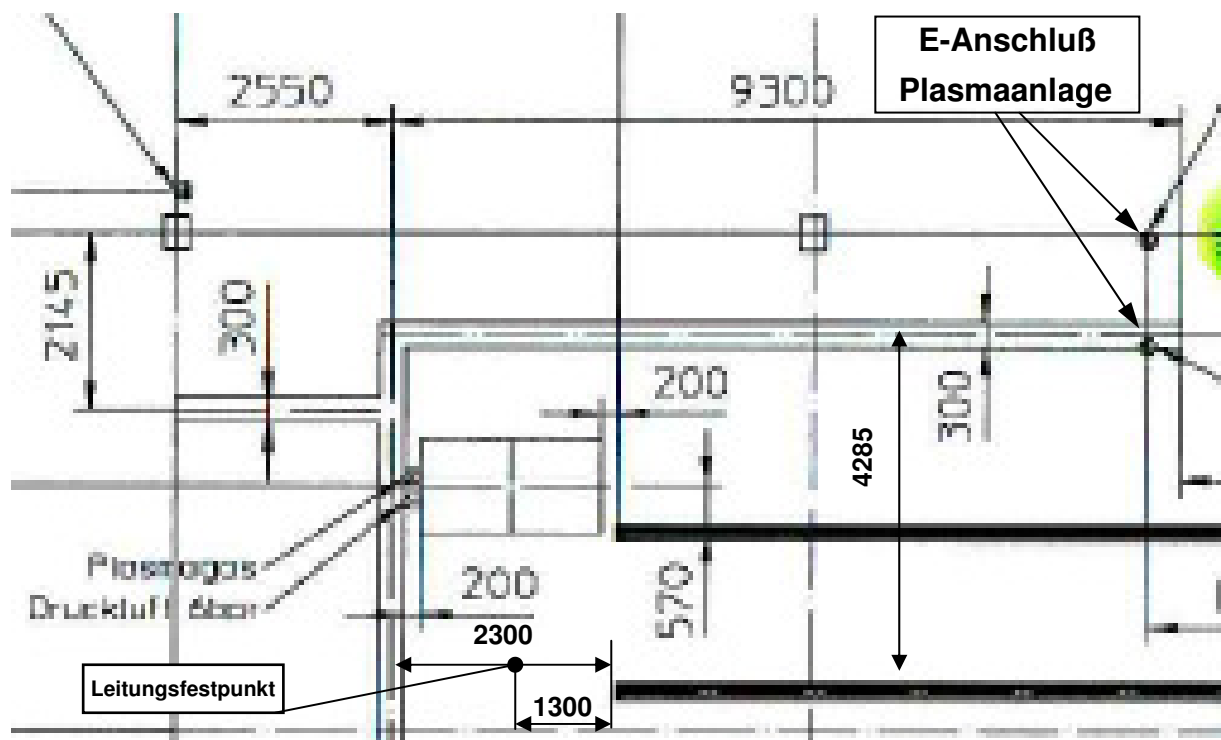


Abbildung 10 Auszug aus Layoutplan Plasmaschneidanlage

(aus Dokumentation Plasmaschneidanlage; AMS Technology GmbH)

Dem Layoutplan der Plasmaschneidanlage kann entnommen werden, dass sich hinter den Tischen ein quer zur Fahrtrichtung verlaufender Kanal befindet. Darin sind Medien wie z.B. die Stromversorgung der Anlage geführt. Es bietet sich an, den Kanal für die Stromversorgungsleitung der Antriebe mit zu nutzen. Der Abstand der Aussenkante des Kanals ist mit 2300mm zur Rückwand der Tische gegeben. Da das Motorkabel (Trommelleitung) am Leitungsfestpunkt endet, wird an diesem Punkt ein Verteilerkasten zur Weiterführung der Leitung bis zum Einspeisepunkt des Energieversorgers montiert. Als abschließende Komponente für den Bereich der Energiezuführung ist daher eine Leitung vom Leitungsfestpunkt von Tisch 1 (links, Blick aus der Anlage) bis zum Einspeisepunkt des Stroms innerhalb der Maschinenhalle einzuplanen. Für Tisch 1 muss die Leitung ca. 15m lang sein. Tisch 2 braucht nur eine Leitung vom eigenen Leitungsfestpunkt bis zum Verteilerkasten vom ersten Tisch. Die Länge entspricht dem Abstand der Schienenstränge von 2400mm. Insgesamt sind rund 18m Versorgungsleitung zu verlegen.

3.2.3.2 Antriebssteuerung

Aus der Vorbetrachtung des Sicherheitszustandes geht hervor, dass im Moment eine erhöhte Quetsch- und Stoßgefahr beim Bedienen der Wechseltische anzutreffen ist. Dieser Punkt, mit der resultierenden Forderung, die Quetschgefahr während der Tischbewegung zu verhindern, stellt den Rahmen für das Steuerungskonzept der Antriebe dar.

Das gesamte System soll über ein Bedienkabel im Mitgängerbetrieb gesteuert werden. Die Steuerflasche ist mit einer flexiblen Spiralleitung ausgerüstet und wird über einen Harting - Stecker am jeweiligen Schaltkasten des Tisches angesteckt. Die Leitung zwingt den Anwender während der Bewegung hinter den Tischen herzu laufen. Seine Position ist somit örtlich gebunden. Ziel ist es, mittels der Kabellänge den Bewegungsspielraum des Werkers einzuschränken, so dass die Bereiche, in denen die Quetschgefahren auftreten, nicht erreicht werden können.

Die Schaltkästen beinhalten die Steuerung und den FU. Wird die Steuerung über den Hauptschalter eingeschaltet, sollen dem Bediener über die Steuerflasche folgende Fahrmöglichkeiten zur Verfügung stehen:

- Tischbewegung vorwärts langsam/ schnell
- Tischbewegung rückwärts langsam/ schnell
- Not-Halt auslösen

An der Bedieneinheit sind dafür 4 Druckschalter vorgesehen. Einer für die Vorwärtsbewegung in langsamer Geschwindigkeit, der zweite für die schnelle Bewegung in gleicher Richtung und noch die anderen Beiden für die Rückwärtsbewegung. Um in der Bedienung eine ungewollte Kollision mit dem Bediener oder dritten Personen zu verhindern wird zusätzlich ein Totmannschalter angebracht. Dessen Funktion ist eine Zustimmungsfunktion. Nur bei Betätigung und gleichzeitigem Druck auf die Fahrtaste wird

der Antrieb angesteuert und eine Fahrbewegung gestartet. Ausgeführt wird der Schalter als 3-stufiger Zustimmschalter. Dadurch wird das sichere Stillsetzen der Antriebe im Notfall abgedeckt. Wenn in einer Gefahrensituation die Zustimmungstaste vollständig durchgedrückt wird, werden die Antriebe sofort abgeschaltet und ein Not-Halt tritt ein. Die Steuerung soll dabei den Tisch über den FU innerhalb kürzester Zeit runterbremsen. Ist dies erfolgt und die Drehzahl der Motorwelle gegen null reduziert, fällt die mechanische Bremse der Motoren ein und sichert die Not-Stopp-Position.

Durch die 3-stufige Ausführung wird ein unerwarteter Anlauf der Anlage verhindert. Befindet sich der Schalter in Stufe 3, wird während des Loslassens und Erreichen von Stufe 1 kein Steuersignal an die Motoren geschickt (vgl. Abbildung 11). Denn innerhalb der Betätigung des Tasters von der ersten auf die zweite Stufe wurden die Schliesserkontakte der elektrischen Schaltung geschlossen und durch die panikartige Betätigung sofort zurückgesetzt. Die Kontakte bleiben geöffnet bis der Schalter erneut von Stellung 1 zu 2 gedrückt wird.



Der Hersteller Euchner des links zu sehenden Bediengerätes, hat den beschriebenen Funktionsablauf entwickelt und patentieren lassen. Mithilfe dieser Funktionsweise wird ein unerwarteter Anlauf der Motoren nach dem Not-Halt verhindert.

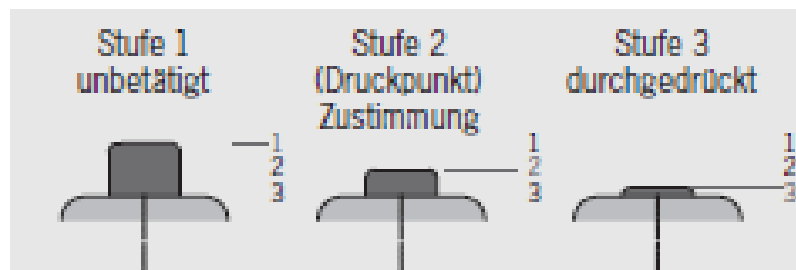


Abbildung 11 Handterminal Euchner - Betätigungsstufen des Zustimmschalters
(Euchner GmbH; Katalog Handbediengeräte)

Als zusätzlichen Sicherheitsfaktor bekommt das Handterminal (HBA) noch einen separaten Not-Halt-Taster. Im Fall des Versagens der Totmannschaltung oder beim Eintreten eines anderen unvorhergesehenen Umstands, ist der Not-Halt zu betätigen und die Motoren werden abgeschaltet. Zunächst ist für das gesamte Tischsystem nur ein Bedienterminal eingeplant. Der Arbeitsablauf erfordert dann für das Verfahren eines Tisches, das HBA an dessen Schaltkasten anzustecken. Optional ist aber auch ein zweites Gerät nachrüstbar.

Einen Tisch manuell aus der Maschinenhalle zu fahren startet immer mit dem Entriegeln der mechanischen Rastklinke. Dieser Vorgang soll durch die Automatisierung entfallen. Dafür werden weitere Komponenten gebraucht. Geplant sind insgesamt sechs Rollenkippschalter für die Abfrage der Endlagen und Umschaltung auf Positioniergeschwindigkeit kurz vor Erreichen der Endposition. Vom Typ werden Rollenkippschalter verwendet. Vorteil dieser Schalter ist die geringe Fehlerquote. Denn der Schalter soll am Fahrwagen montiert werden. Ausgelöst wird der Schalter dann

durch eine Betätigungsfahne, welche sich in den Schienen befindet. Die Montage der Schalter und des Auslösers an der richtigen Stelle vorausgesetzt, werden die Rollenkippschalter stets zum festgelegten Zeitpunkt ausgelöst. Ein induktiver Näherungsschalter zum Beispiel, würde im Bezug auf die vorherrschenden Bedingungen diese Aufgabe nicht so zuverlässig erfüllen. Bei diesem ist es möglich, dass am Boden befindliche metallische Verunreinigungen, wie Schlackereste, den Schalter zu einem unerwünschten Zeitpunkt betätigen.

Die Endlagenabschaltung soll folgendermaßen geschehen. Nach dem Ausfahren des Tisches aus der Maschinenhalle, wird durch eine am Ende des Schienenstranges angebrachte Betätigung, der Kippschalter (Nr. 1 siehe Abbildung 12) gedrückt und die Steuerung erhält Signal den Tisch über eine Not-Halt Funktion abzubremsen. Das heißt der äußere Endschalter hat die Funktion einer Sicherung gegenüber dem unbeabsichtigten Ausfahren aus den Schienen. Beim Einfahren sollen zwei Betätigungsfahnen die am hinteren Teil des Fahrwagens befestigten Rollenschalter auslösen. Dabei funktioniert der Endschalter Nummer zwei als eine Art Vorabschaltung. Ab dem Punkt wird der Motor generatorisch über den FU abgebremst. Der dritte Endschalter sorgt nur noch für eine „harte Abschaltung“ ähnlich dem äußeren Endschalter.

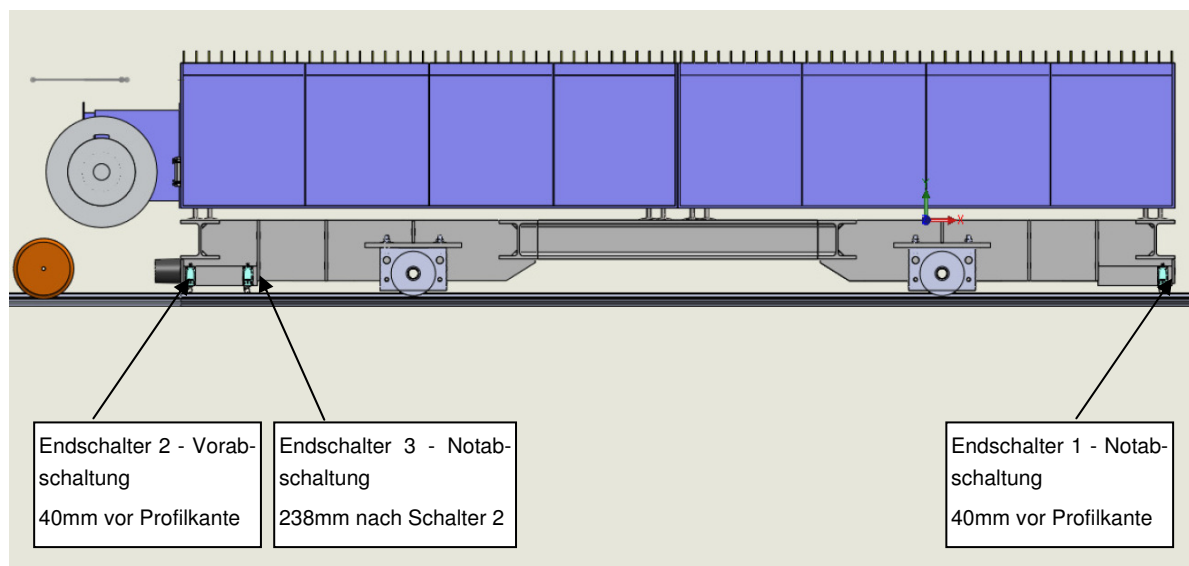


Abbildung 12 Endschalterpositionen
(eigene Darstellung)

Die Notabschaltung („harte Abschaltung“) kann dabei innerhalb von 34mm Wegstrecke erfolgen. Der Auslegungsrechnung des Antriebsherstellers ist dieser Wert entnommen. Die Anordnung der Betätigung wird deshalb einen Meter vor Ende des Schienensystems angebracht. Wenn der Rollenkippschalter 40mm vor dem Fahrwagenende angebracht ist, ergibt sich ein theoretischer Anhaltepunkt des Wagens von 926mm vor dem Ende des Schienensystems.

Für das Einfahren ist die Position des zweiten Endschalters am Fahrwagen auch mit 40mm vor dessen Ende festgelegt. Der zur Notabschaltung verwendete Schalter

muss mindestens im Abstand des generatorischen Bremswegs dazu angebracht werden. Gebremst wird der Wagen in ca. 1,5 Sekunden bei einem Bremsweg von 138mm. Die Geschwindigkeit reduziert sich dabei von 10 auf 0,7m/min Schleichfahrt. In einer zweiten Stufe wird der Antrieb vollständig abgebremst auf nahezu Null bei einem Weg von 100mm. Das bedeutet die Position der Abfrage zur Notabschaltung liegt 238mm vor dem zweiten Rollenkippschalter.

Da der Fahrwagen nach wie vor auf die Prallböcke mit seinen Gummipuffern auffahren soll, ist zum genauen Erreichen der Endposition der Abstand der Betätigungen in den Schienen entscheidend. Die Notabschaltung über die mechanische Bremse ist in 34mm Bremsweg geschehen. Um die Gummipuffer in der Endlage etwas vorzuspannen, wird die Betätigung so angebracht, dass beim Anschlagen der Tische an die Böcke die Bewegung noch nicht vollständig heruntergebremst ist. Die Puffer haben eine Länge von 108mm. Die Endlage über die Prallböcke ist derzeit so eingestellt, dass der Fahrwagen bündig mit dem Schienensystem abschließt. Die Addition der Pufferlänge, der Schalterposition am Fahrwagen (Nr. 3 - siehe Abbildung oben) und dem Not-Halt Bremsweg minus 2mm Vorspannung ergibt 418mm Montageabstand des Betätigers zum Prallbock.

Abschließende Komponenten für die Antriebssteuerung sind je Wechseltisch zwei Initiatoren zur Abfrage der angesteckten Medien Druckluft und Strom von der Tischabsaugung, sowie ein Abfrageschalter zur Überwachung der mechanischen Kopplung (Hebel geschlossen/ geöffnet). Für die insgesamt fünf Abfragen werden induktive Näherungsschalter verwendet. Wichtig ist die Medienüberwachung um zu verhindern, dass ein Ausfahren der Tische erfolgt, ohne diese abgesteckt zu haben. Eine Zerstörung der Anschlüsse und Leitungen wäre die Folge.

Die Überwachung der Kopplung hat folgenden Hintergrund: Bedingung in der Anwendung des Tischsystems ist die Möglichkeit des gemeinsamen Aus- und Einfahrens beider Tische. Dazu soll zunächst sichergestellt werden, dass sich beide Tische auf gleicher Höhe befinden. Zum einen realisiert das der Verriegelungshebel an der Vorderseite der Tische. Denn nur wenn beide Tische fluchten, ist der Hebel umschwenkbar. So ist es 2. über Zwangsbedingungen im Steuerungsablauf möglich, das Herausfahren im Koppelbetrieb nur zu ermöglichen, wenn davor alle sich innerhalb der Anlage befindlichen Tischendschalter betätigt sind. Wichtiger ist jedoch die Abfrage an der Kopplung. Denn außerhalb der Anlage existiert nur Endschalter 1 für die Notabschaltung. Bei einer Position der Tische zwischen den Endlagen ist es sinnvoller die Tische einzeln auf eine Höhe zu fahren, die Verriegelung zu schließen und die gemeinsame Fahrbewegung zu starten.

Zum Starten des Koppelbetriebs muss die Verbindung zwischen den beiden Schaltkästen mit einem Harting - Stecker hergestellt werden. Diese Verbindung ist zum Übertragen der Datensätze der Steuerung von Tisch 1 zu 2 nötig. So wird sichergestellt, dass beide Motoren mit derselben Eingangsfrequenz betrieben werden. Einer

der beiden FU's wird in dieser Betriebsart als „Master“ ausgerichtet. Das heißt dessen Vorgabewerte werden von dem anderen FU, dem „Slave“, übernommen. Somit laufen beide Motoren mit derselben Drehzahl und die Tische fahren gleichzeitig aus. Eine Rückmeldung der aktuellen Antriebswellendrehzahl an die Steuerung geschieht nicht. Dafür muss eine Drehzahlrückführung an den Motoren angebaut sein. Die Ausführung der verwendeten Motoren sieht dies nicht vor, die Funktion ist aber bei Bedarf nachrüstbar. Abschließend für die Steuerungsauslegung wird der Ablauf in einer Übersicht zusammengefasst (Abbildung 13).

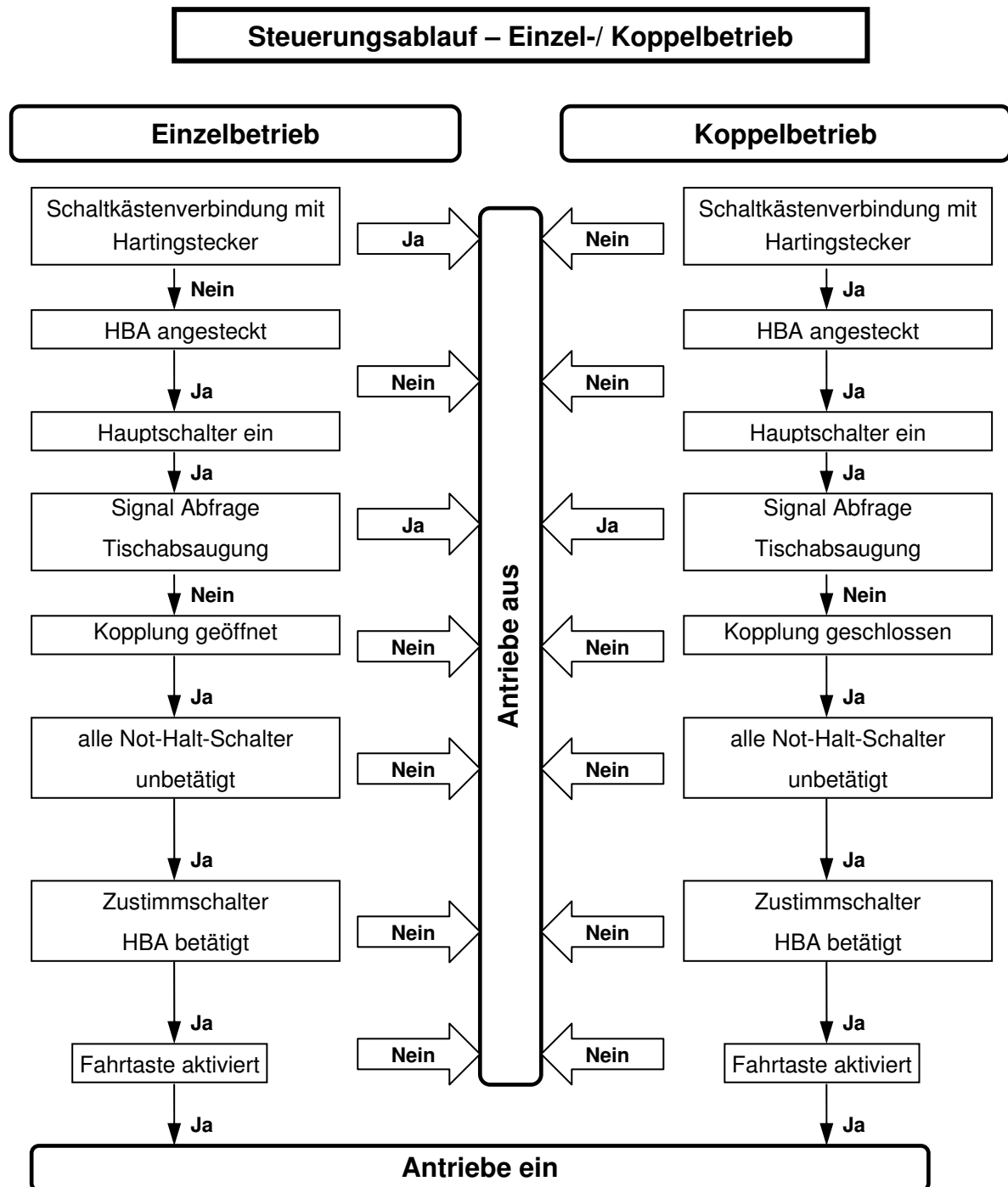


Abbildung 13 **Ablaufbedingungen für die Fahrbewegung**
(eigene Darstellung)

3.3 Montage

3.3.1 Restriktionen

Der vorhandene Bauraum zwischen den Radaufnahmen des Fahrwagens und der nach unten sowie seitlich geschlossene Schneid Tisch erschwert den Montageprozess der Antriebselemente. Zwischen der Unterkante des Schneid tisches und dem Stahlprofil des Wagens ist nur ein Freiraum von 50mm. Die Höhe des Fahrwagens mit 300mm bietet auch nicht genügend Raum, um problemlos unter den Tischen arbeiten zu können.

Deshalb sind für den Einbau der Motoren die Tische aufzubocken. Das Tischgewicht ist dabei nicht außer Acht zu lassen. Die Böcke sollen mindestens eine Tonne Gewicht halten können. So werden sechs Stück unter den Fahrwagen gestellt. Für das Aufbocken kommt an beiden Seiten ein Gabelstapler zum Einsatz. Unterstützend kann auch der vorhandene Hallenkran den Tisch mit anheben. Die Höhe der Böcke für eine sichere Arbeitsposition darf 1500mm nicht unterschreiten. Denn die Gewichte der Motoren und Wellen sind mit einzuplanen. Eine Montage von einem rund 30kg schwerem Getriebemotor, liegend Überkopf, ist nicht sicher und zweitens kaum machbar.

Eine weitere Erschwernis in der Montage ist die Ausführung während des laufenden Betriebs der Plasmaschneidanlage. Daher kann immer nur ein Tisch mit den Antriebselementen versehen werden während der andere weiter für die Bearbeitung zur Verfügung steht.

3.3.2 Ablaufplan

Drei verschiedene Arten der Montage müssen unterschieden werden. Zum einen die Installation der mechanischen Komponenten am Fahrwagen im aufgebockten Zustand, zweitens die elektrischen Komponenten im selben Zustand und drittens die Anbauelemente, mechanisch und elektrisch, welche unaufgebockt angebaut werden können. Durch die unterschiedlichen Arten gliedert sich die Montage in drei Stufen.

Als erster Punkt steht aber nicht der Anbau der Antriebselemente sondern die Vorbereitung der elektrischen Komponenten mit ihren Halterungen. Genau genommen sind die Teile gemeint, welche ohne Anheben des Wagens angebracht werden können. Dazu gehören zum Beispiel:

- die Federleitungstrommel samt Halterung und Umlenkrolle
- die Schienenreinigungsbürsten
- die Halterung für die Näherungsschalter (Medienabfrage der Tischabsaugung)
- Initiatorhalterung an der Koppeleinrichtung
- die Schaltkästen

Davon können wiederum nur die Teile angebracht werden, welche im gleichen Zeitraum angeliefert werden. Für die zuerst zu montierenden Teile orientiert sich alles an

der Lieferzeit der Federleitungstrommel. Es sind 4 Wochen Lieferzeit eingeplant für die Trommeln. Schaut man auf die Lieferzeit des Motorenanbieters, stehen hier 5 Wochen zu Buche. So bleibt bei Bestellung zum gleichen Zeitpunkt eine Woche Zeit für das Anbringen der Federleitungstrommel und den anderen elektrischen Komponenten.

Dann kann sich sofort die zweite Stufe der Montage anschließen, das Montieren der mechanischen Baugruppen bei aufgebocktem Tisch. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Arbeiten im ersten Punkt abgeschlossen sind. So muss auch die Lieferzeit der anderen Bauteile, neben den Leitungstrommeln, beachtet werden. Die Sensoren und Schalter sollten vor dem Eintreffen der Antriebselemente angeliefert und vollständig montiert sein. Doch darin besteht das Problem, denn die Näherungsschalter und Schaltkästen sind in der Ausrüstung der Automatisierungsfirma enthalten. Hier liegt eine Lieferzeit von 8 Wochen vor. Der Plan ändert sich damit insoweit, dass durch technische Klärung mit dem Anbieter abgesprochen wird, welche Schalter und Schaltkästen verwendet werden. Mit den Angaben, kann der erste Montagepunkt dann mit der Vorbereitung aller Halterungen für die Schalter und Anbauteile abgeschlossen werden.

Erst jetzt ist für den Start des Vorgangs, zweite Montagestufe, die Voraussetzung gegeben. Der zeitliche Bedarf dafür muss vorab ermittelt werden. Dadurch kann eingeschätzt werden in welchem Maße der nachfolgende Vorgang beeinflusst wird. Sind die acht Wochen Lieferzeit für die Steuerungsanlieferung schon vorbei und der zweite Vorgang ist noch nicht beendet gerät das Projekt in Verzug. Ist der Liefertermin noch entfernt und die zweite Stufe ist abgeschlossen, bleibt eine Pufferzeit. Durch diese besteht jedoch die Gefahr, dass der Tisch im aufgebockten Zustand unbenutzt verbleibt und für die Plasmabearbeitung nicht zur Verfügung steht. Dies und ein dadurch verursachtes zweimaliges Aufbocken des Tisches sind zu vermeiden. Anhand der geplanten Zeit für das Anbringen der Motoren und Wellen wird darum der Termin für den Beginn der zweiten Stufe nach hinten in Richtung geplanten Liefertermin der Antriebssteuerung verschoben.

Deutlicher wird der Grund für ein solches Vorgehen durch die sich anschließende dritte Montagestufe. Der Wechseltisch soll im aufgebockten Zustand bleiben. Sind alle mechanischen Teile installiert kann der Einbau der Elektrik folgen. Dazu gehört das Ausrüsten der vorbereiteten Halterungen mit den Näherungsschaltern, das Anklemmen der Motoren, die Montage des Schaltkastens, die Verdrahtung aller Sensoren und das Anbringen der Not- Halt- Taster am Schneid Tisch. Auch die schon eingebaute Federleitungstrommel wird mit am Schaltschrank angeschlossen. Abschließend ist schon in diesem Stadium der Installation ein Funktionstest sinnvoll. Dafür muss eine provisorische Stromversorgung des Schaltkastens hergestellt werden. Die Leitung der Trommel ist zu dem Zeitpunkt nur bedingt verwendbar, da der Tisch nach wie vor aufgebockt ist. Durch das Provisorium kann aber sichergestellt

werden, dass die Antriebe laufen, die Mechanik korrekt montiert ist und die Elektrik funktioniert. Ein Feststellen von groben Einbaufehlern kann zu diesem Zeitpunkt noch leicht korrigiert werden. Ist der Tisch erst wieder abgebockt und es werden Fehler erkannt, wird ein wiederholtes Aufbocken notwendig.

Zur Veranschaulichung der beschriebenen drei Installationsstufen ist der Ablaufplan in einer schematischen Übersicht erstellt worden. Darin ist auch die zeitliche Einordnung der Vorgänge zu erkennen. Das Einschätzen der Vorgangsdauern beruht auf Schätzen und Vergleichen. Es wurde die Dauer eines Arbeitsganges geschätzt und für den kompletten Montageprozess hochgerechnet. Dadurch entstandene Zeiten sind auch die Grundlage für die Kostenkalkulation im nächsten Kapitel. Die nachfolgende Tabelle fasst zunächst die gesamten Inhalte der beschriebenen Montagestufen zusammen. Die Gesamtzeiten beziehen sich auf einen Tisch und werden für beide verdoppelt.

Inhalte der einzelnen Montagestufen			
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Montageschritte	Anschweißen Flanschplatte Haltewinkel Leitungstrommel	Aufbocken eines Tisches vor der Maschinenhalle	Einbau aller Sensoren (Näherungsschalter)
	Zeit: 1MA - 1 Stunde	Zeit: 2MA - 2Stunden	Zeit: 1MA - 2Stunden
	Haltewinkel und Federleitungs- trommel anschrauben an Flanschplatte	Demontage der hinteren Lauf- räder DRS 160 und Einbau der neuen Räder	Montage des Schaltkas- tens - Anklemmen der Federleitungstrommel
	Zeit: 2MA - 1,5 Stunden	Zeit: 2Ma - 4Stunden	Zeit: 2Ma - 2Stunden
	Haltewinkel der Näherungs- schalter anschrauben	Prüfen der Radblockausrich- tung - Achsen fluchtend	Einbau der Not-Halt - Taster
	Zeit: 1MA - 1 Stunde	Zeit: 2MA - 1Stunde	Zeit: 1MA - 1Stunde
	Umlenkrollenhalter + Rolle montieren	Drehmomentstütze an Radauf- nahme montieren	Verkabeln aller Senso- ren mit Schaltkasten
	Zeit: 1MA - 1 Stunde	Zeit: 1MA - 2Stunden	Zeit: 2MA - 4Stunden
	Schienenreinigungsbürsten montieren	Steckwelle in Getriebemotor einziehen/ Motor anbauen	Verkabeln der Not-Halt- Taster zu Schaltkasten
	Zeit: 1MA - 1 Stunde	Zeit: 1MA - 1Stunde/2MA - 1Std.	Zeit: 1MA - 2Stunde
	Schaltkastenhalterung anbringen	Verbindungswelle montieren - Kupplung aufstecken	Netzanschluss herstel- len
	Zeit: 1MA - 1,5 Stunden	Zeit: 2MA - 1Stunde	Zeit: 2MA - 2Stunde
	10% - Anpassungszeit	10% - Anpassungszeit	10% - Anpassungszeit
	Zeit: 1 Stunde	Zeit: 1 Stunde	Zeit: 1,5 Stunden
	Gesamtzeit: 8h x 2	Gesamtzeit: 13h x 2	Gesamtzeit: 14,5h x2

Tabelle 4 **Inhalte der Montagestufen**
(eigene Darstellung)

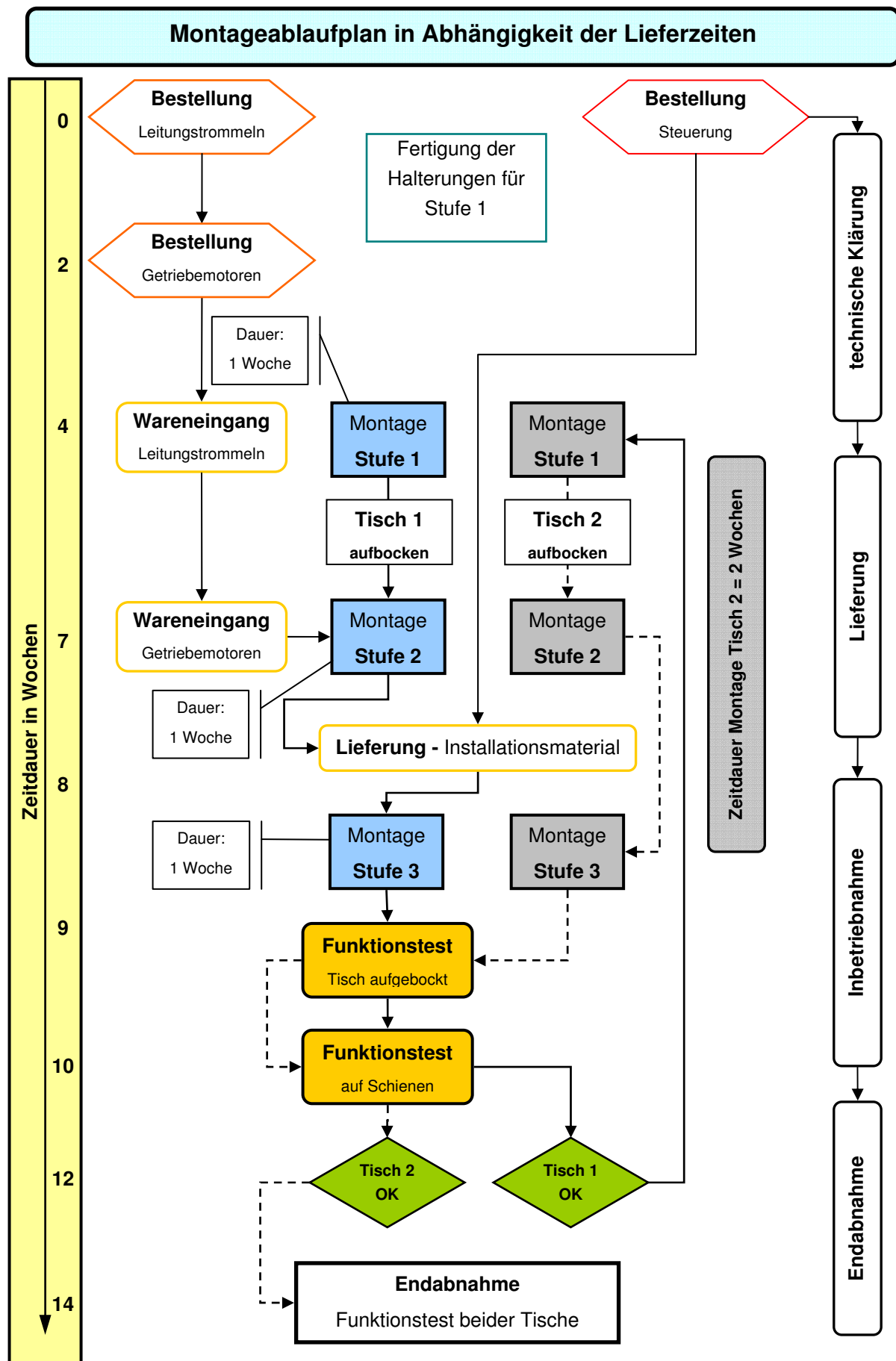


Abbildung 14 Montageablaufplan
(eigene Darstellung)

Aus Tabelle 4 geht hervor, dass alle drei Montagestufen anhand der theoretisch ermittelten Zeit in einer Woche erledigt sind. Rund 36 Zeitstunden werden benötigt. Im Montageablaufschema (Abbildung 14) sind für die einzelnen Stufen aber Dauern von einer Woche angesetzt. Begründet wird dieses Vorgehen anhand der ungenauen durch Schätzen ermittelten Zeitwerte der einzelnen Arbeitsgänge. So sind bei dieser großzügigen Planung genügend Puffer im Ablauf für auftretende Probleme vorhanden. Durch das Umsetzen der Konstruktion innerhalb des laufenden Betriebs werden Störungen zwangsläufig auftreten, die in dem eingeplanten zeitlichen Mehrbedarf behoben werden können. Begleitend zu den Lieferzeiten der einzelnen Komponenten läuft die Installation an Tisch 1. Am zweiten Tisch kann sofort mit der Bearbeitung gestartet werden, nachdem ein erfolgreicher Funktionstest am ersten durchgeführt wurde. Die Dauer der gesamten Montage von Tisch 2 wird zeitlich auf zwei Wochen festgelegt. Denn zum Startzeitpunkt liegen alle Einzelteile und Baugruppen zum Einbau vor und können nacheinander weg montiert werden.

3.4 Kostenkalkulation

Die Aufsummierung aller Kostenbestandteile der Zentralantriebsvariante beinhaltet folgende Bereiche. Zuerst sind alle Materialkosten aufgeführt, dann ergeben sich die mechanischen Montagekosten und abschließend der Eigenanteil an den elektrischen Installationskosten und die Automatisierungskosten. Gegenüber den Kalkulationssummen im Variantenvergleich (vgl. Projektarbeit 3), sind die derzeit zusammengefassten Kosten höher. Ein Grund ist die Berücksichtigung der Möglichkeit des manuellen Betriebs der Schneidtische im Störfall. Die dafür erforderliche Handbremslüftung am Motor erhöht die Antriebskosten um ca. 400 Euro.

Der nächste zusätzliche Kostenfaktor ist die Einrechnung des Eigenanteils bei der Elektromontage. Es wurde das Verlegen und Anschließen der Stromversorgungsleitung mit eingeplant. Ein zusätzliches Aufbocken der Tische wurde nicht eingerechnet, da laut dem Montageplan durch zeitlich aufeinander folgende Abläufe diese extra Kosten vermieden werden sollen. Das Anheben der Tische ist demnach in der mechanischen Montage schon enthalten. Der Zeitanteil wurde gegenüber dem Variantenvergleich um eine Stunde erhöht. Insgesamt summiert sich der Anteil Elektromontage auf 195 Euro. Im Zusammenhang mit der Elektromontage steht die Montagestufe 1. Die beinhaltet vor allem das Anbringen der Halterungen für die Energiezuführung sowie die Montage der Umlenkrolle. Aus dem zeitlichen Bedarf von 16 Stunden ergeben sich weitere mit zu kalkulierende Mehrkosten von 756 Euro.

Für die Steuerungskosten wurde vor der Ausarbeitung des Zentralantriebs ein weiterer Angebotsvergleich durchgeführt. Bisher lag nur ein Angebot vor. Da der Anteil an der Gesamtsumme hier bei fast 60% lag, war die Einholung weiterer Preise zwingend erforderlich, um den Wert der angebotenen Leistung einschätzen zu können. Dabei erreichten die beiden anderen Firmen ähnliche Preisniveaus.

Die zweite angebotene Lösung ist mit der des 1. und 3. Anbieters jedoch nicht genau vergleichbar. Hier wurde als Steuerung ein Zentralumrichter, der in einem fest installierten Schaltschrank untergebracht ist, ausgewählt. Vorteil der Lösung ist ein exakt synchroner Lauf der Motoren im Koppelbetrieb, denn beide Motoren bekommen ihr Eingangssignal vom gleichen FU. Durch das Nichtvorhandensein einer Drehzahlrückführung an den Motoren, sah der Anbieter in der Lösung mit zentralem FU, die größte Sicherheit für den gekoppelten Antrieb. Im Betrieb mit zwei Umrichtern wollte er keine Garantie für den Gleichlauf der Motoren übernehmen. Der Unsicherheitsfaktor durch die Toleranz der FU - Signale und deren Verarbeitung in den Motoren war seiner Meinung nach zu groß. Nachteil dabei ist aber, dass zu den Motoren bzw. Klemmenkästen eine größere Leitung hingeführt werden muss. Das heißt alle Steuerleitungen der Sensoren und Schalter müssen mit aufgewickelt werden. Dadurch werden die Preise der Leitungstrommeln wesentlich teurer. Eine Leitungstrommel für die Variante mitfahrende Schaltkästen kostet 915 Euro (Kabel 5 x 1,5mm²). Für den Antrieb mit fest installiertem Schaltschrank wird der doppelte Preis von 1842 Euro (Kabel 20 x 1,5mm²) veranschlagt. Eine Berücksichtigung der Variante kommt somit nicht in Frage. Mit 8782 Euro insgesamt, wäre zwar für die Automatisierung weniger als im ersten Angebot zu bezahlen, aber mit den höheren Leitungstrommelkosten schlägt der geringe Vorteil ins Gegenteil um. Die Übersicht in Abbildung 15 zeigt den Vergleich der Automatisierungskosten von den einzelnen Anbietern.

Der 3. Anbieter erarbeitete schließlich das gewünschte Steuerungskonzept der mitfahrenden Schaltkästen zum günstigsten Preis. Inhalte seiner Leistungen sind:

- Projektierung der Elektrokonstruktion
- Planung der Steuerung und des Sicherheitskreises
- Schaltschrankbau (Bestücken mit FU, Steuerung, usw.)
- Lieferung der Schalter und Sensoren, Blitzlampe und Bediengerät
- Installation der Schaltkästen, Endschalter und Sensoren
- Inbetriebnahme und Endabnahme

Das Steuerungskonzept sieht die Bedienung über das HBA vor. Die Funktionsweise entspricht der im Punkt 3.2.3.2 beschriebenen. Als zusätzliche Komponente kommt für die Signalisierung der Fahrbewegung des Schneidtisches je eine Blitzlampe zum Einsatz. Außerdem sind für den Fahrwagen zusätzliche Not - Halt - Taster eingeplant. Somit belaufen sich die Automatisierungskosten bei Anbieter Nummer drei auf 8180 Euro. Der Eigenanteil für die Elektroinstallation liegt hier bei 195 Euro, weil im Angebot der Großteil der elektrischen Installation enthalten ist.

Für die Elektrokonstruktion des Zentralantriebs wird demnach der Anbieter drei ausgewählt. Mit dem Einholen weiterer Angebote für die Steuerungstechnik und dem Ergebnis der Reduzierung des ursprünglichen Angebotswertes um fast 700 Euro

konnte damit der Anteil der Steuerungskosten von knapp 60 auf 48% gesenkt werden. Insgesamt belaufen sich die verkalkulierten Kosten auf 17169 Euro. Zu sehen in der Kalkulationstabelle im Anhang 15 sowie im folgenden Diagramm.

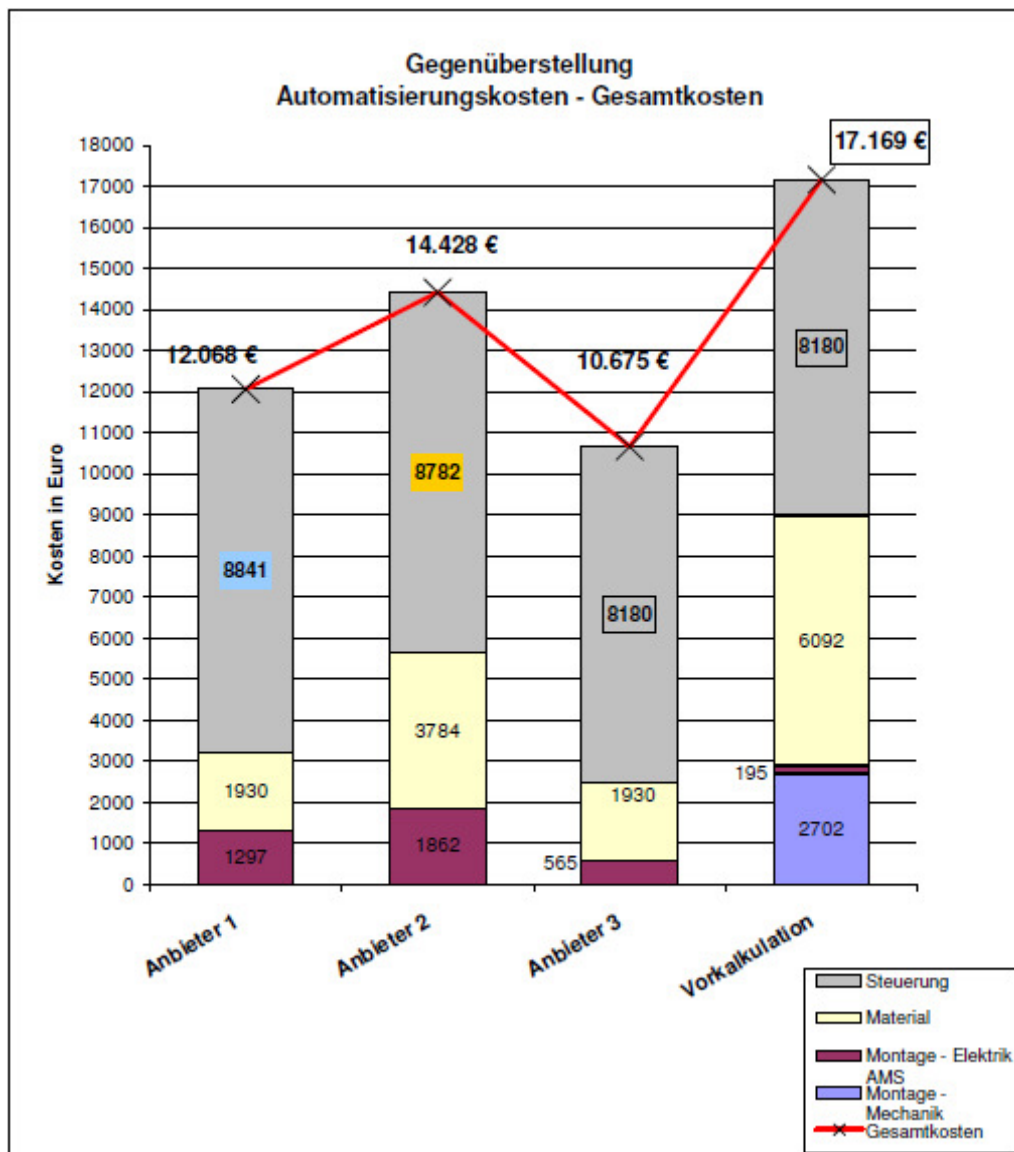


Abbildung 15 Kostendiagramm Automatisierungs-/ Gesamtkosten

(eigene Darstellung)

In den Automatisierungsvergleich gehen für die Materialkosten die jeweils benötigten Federleitungstrammeln ein. Unterschiede in den elektrischen Montagekosten gehen auf die verschiedenen Angebotsinhalte der Firmen zurück. Die Gesamtkosten werden als verkalkulierte Kosten bezeichnet, da die Summierung vor dem endgültigen Projektstart mit Beginn der Bestellung der Bauteile vorgenommen wurde. Das bedeutet, bei Hinzufügen weiterer Komponenten durch die folgende Sicherheitsanalyse oder durch Angebotsverhandlungen kurz vor dem Bestellvorgang können sich die Werte positiv wie negativ ändern.

4 Sicherheitsbetrachtung

4.1 Vorgehen

Die Schritte für das Erstellen einer sicherheitstechnischen Analyse der Antriebskonstruktion sind durch die Maschinenrichtlinie festgelegt. Notwendig wird die Sicherheitsbetrachtung aufgrund der Ausführungen in Gliederungspunkt 2.3 und durch die Forderung der Automatisierungsfirma nach einer Risikobewertung des Wechseltischsystems. Anhand dieser wird durch den Steuerungsanbieter die Schaltausrüstung und die Sicherheitstechnik ausgelegt.

Zunächst ist die vorhandene Anlage im Ist - Zustand vor der geplanten Anbringung der Antriebe zu betrachten. Die Grenzen des Systems und deren Verwendungszweck sind festzulegen. Danach sind alle Gefährdungen aufzulisten. Die Gefährdungen sind hinsichtlich ihrer Auftretswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes einzuordnen. Dieses Vorgehen zum Finden und Einschätzen von Gefährdungen wird in der DIN EN ISO 12100 - 1:2011 - 03 „Sicherheit von Maschinen“ beschrieben. Darin werden vor allem mögliche Gefährdungen aufgelistet, weitere sind in der Maschinenrichtlinie im Anhang I zu finden.

Die DIN EN ISO 12100 - 1 enthält weiter die „3- Schritt-Methode“ zum Mindern der gefundenen Risiken. Dabei werden nacheinander die in der Konstruktion zu treffenden Schutzmaßnahmen abgearbeitet. Im ersten Schritt steht dabei immer die Vermeidung von Gefährdungen durch die Gestaltung der Konstruktion. In der DIN beschrieben als „inhärent sichere Konstruktion“. Der zweite Schritt sieht die Verwendung von technischen Schutzmaßnahmen zur Gefahrenminderung vor. Verbleibende Restrisiken werden dann im letzten Schritt durch Benutzerinformationen in Betriebs- und Bedienungsanweisungen erfasst. Sie mindern nicht die eigentliche Gefahr, weisen aber ausdrücklich darauf hin.

Die Minderung der Risiken aufgrund der Risikobeurteilung ist der Teil, in dem Maßnahmen zum Erreichen einer sicheren Konstruktion festgelegt werden. Diese Schutzmaßnahmen stellen den Rahmen für das Sicherheitskonzept dar. Steht das Sicherheitskonzept, ist erneut zu prüfen ob durch die sicherheitstechnischen Maßnahmen neue Gefahren geschaffen wurden oder ob die Anlage nun innerhalb des tolerierbaren Restrisikos betrieben werden kann.

4.2 Wechseltischsystem im Ist- Zustand

4.2.1 Risikoanalyse

Für die Einstufung, der am manuell betriebenen Wechseltischsystem vorhandenen Gefährdungen, sind die Ausführungen im Abschnitt 2.3 ausschlaggebend. Hier wurden bereits die Systemgrenzen aufgezeigt und Gefährdungen aufgelistet. In der Risikoanalyse wird nun die mögliche auftretende Häufigkeit zusammen mit der Schwere des Schadens eingeschätzt. Werden Gefahren in ihrer Schwere der möglichen Verletzung als hoch eingestuft, hängt die Auswirkung auf die Sicherheit von der Einteilung der Eintreffenswahrscheinlichkeit ab. Ein hohes Risiko geht demnach dann von der Maschine aus, wenn sowohl das Schadensausmaß als auch die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der Gefahr hoch sind. Dafür werden die Wahrscheinlichkeiten eingeordnet von häufig bis kaum mögliches Eintreten des Schadens. Das Ausmaß des Schadens reicht dabei vom schlimmst möglichen Fall wie z. B. dem Tod („irreversible Verletzung“) bis zum geringsten Fall einer reversiblen leichten Verletzung. Bei der Einordnung für das Wechseltischsystems wurde sich am Dokument von ARMIN BOJAHR - „Risikoanalyse und -bewertung nach der Maschinenrichtlinie“ angelehnt. Hier erhalten alle Wahrscheinlichkeiten (W) die Einstufung von A bis E, sowie die Schadensausmaße (S) von I bis V. Die ausgefüllten Tabellen der Risikoanalyse mit diesen Einstufungen sind dem Anhang 16 - 19 zu entnehmen.

Die gelisteten Gefährdungen in der Tabelle, vor allem das Quetschen sind folgendermaßen begründet. In der DIN EN 349:2008-09 sind die Mindestabstände für das Vermeiden der Quetschgefahr angegeben. Darin heißt es, dass der Abstand für den Durchgang einer Person mindestens 500mm betragen soll. So beträgt der Abstand zwischen Schneidtisch und Rolltordurchgang 400mm. Eine Quetschgefahr ist offensichtlich. Für das Vermeiden von Quetschungen eines Beines werden Mindestabstände von 180mm angegeben und für eine Hand 100mm. Die Quetschgefahren für beide Körperteile liegen am vorhandenen System vor. Denn zwischen den Tischen beträgt der Abstand 50mm. Beim wechselseitigen Tischbetrieb besteht also eine erhöhte Verletzungsgefahr. Nur die Körperteile Fuß und Finger sind unwesentlich gefährdet gegenüber dem Quetschen. Für die Finger beträgt der Mindestabstand um dies zu vermeiden 25mm und beim Fuß 120mm. Beides ist am Tisch mit der Fahrwagenhöhe von 140mm und dem Tischabstand von 50mm eingehalten.

Die Analyse ergibt aufgrund der Gefahrensituationen die verschiedenen Ereignisse welche zu einer Verletzung der Mitarbeiter führen. Hauptsächlich auftretende mögliche Verletzungen sind:

- Fuß-, Bein- und Handverletzungen
- Verletzungen am Oberkörper
- Kopfverletzungen

Die Einschätzung dieser Verletzung nach ihrer Schwere geschieht nun durch das angesprochene Zuordnen des Schadensausmaßes und der Auftrittswahrscheinlichkeit. Im Fall des Tischsystems im manuellen Betrieb werden Schäden bis zu einer Schadensklasse II eingeschätzt. Das bedeutet eine schwere irreversible Verletzung. Hervorgerufen werden kann eine solche Verletzung beim gegenläufigen Bewegen der Schneidplatte (Punkt 3.3.1 der Risikoanalysetabelle). Geschuldet dem geringen Abstand von 50mm zwischen den Tischen.

Weitere auftretende Schadensarten sind leichte irreversible Verletzungen (III) sowie heilbare Verletzungen mit Arbeitsausfall (IV). Entscheidend ist nun die Auftrittshäufigkeit. Durch Einstufung der geringen Gefährdungen, wie zum Beispiel dem Stoßen an der Tischkante (Punkt 1 und 2 in der Analyse), mit einer hohen Wahrscheinlichkeit (A und B) ergibt sich insgesamt ein hohes Schadensrisiko. In der Risikoanalyse ist der schwerste Schadensfall (Punkt 3.3.1) mit einer Wahrscheinlichkeit B eingeordnet. Das bedeutet, dass durch die mögliche Schwere der Verletzung schon ein hohes Risiko besteht und mit der großen Eintrittsmöglichkeit noch höher einzuschätzen ist.

Um einen Eindruck der vorhandenen Risiken der Konstruktion zu bekommen, werden diese in einer Risikomatrix aufgelistet. Mit der Matrix ist es möglich, die Abgrenzung des nicht tolerierbaren Risikos eindeutig darzustellen. Beginnen wird die Abgrenzung immer vor dem größtmöglichen Schaden, da dieser keinesfalls zu akzeptieren ist (vgl. Abbildung 16). Alle gefundenen Gefährdungen werden in die Matrix eingetragen und befinden sich dann innerhalb der Toleranzgrenzen oder außerhalb. Diejenigen Schäden, welche sich nicht im akzeptierbaren Risiko bewegen, sollen durch die Risikobewertung eine neue Einordnung innerhalb der Akzeptanzgrenze bekommen. Außerhalb des tolerierbaren Risikos befinden sich am manuell betriebenen Tischsystem bis auf drei Gefahrensituationen alle gefundenen Schadensereignisse. Das zeigt die große Notwendigkeit den manuellen Antrieb zu ersetzen.

4.2.2 Risikobewertung

Die Bewertung der Risiken setzt deren Auffinden und Einschätzen durch die Risikoanalyse voraus. Die Analysetabellen im Anhang zeigen den Zusammenhang zwischen der vorhandenen Gefahr und dem möglichen Schadensereignis, welches nun hinsichtlich möglicher Schutzmaßnahmen bewertet wird. Es werden also die in der Risikomatrix außerhalb der Toleranzgrenze befindlichen Gefahren durch das Festlegen von Schutzziele und Maßnahmen neu bewertet. Diese sich neu ergebenden Einstufungen werden wiederum in die Matrix eingetragen. Nun wird geprüft, ob sich alle Risiken in den Grenzen des akzeptierten Risikos bewegen. Ist dies nicht der Fall, sind weitere Maßnahmen zu treffen. Für die geänderte Konstruktion mit den Schutzmaßnahmen ist dann eine erneute Risikoanalyse durchzuführen, um sicherzustellen, dass keine neuen Gefahren auftreten und das Restrisiko akzeptabel ist. Abbildung 16 zeigt die Schadensfälle mit getroffenen Schutzmaßnahmen in der Matrix.

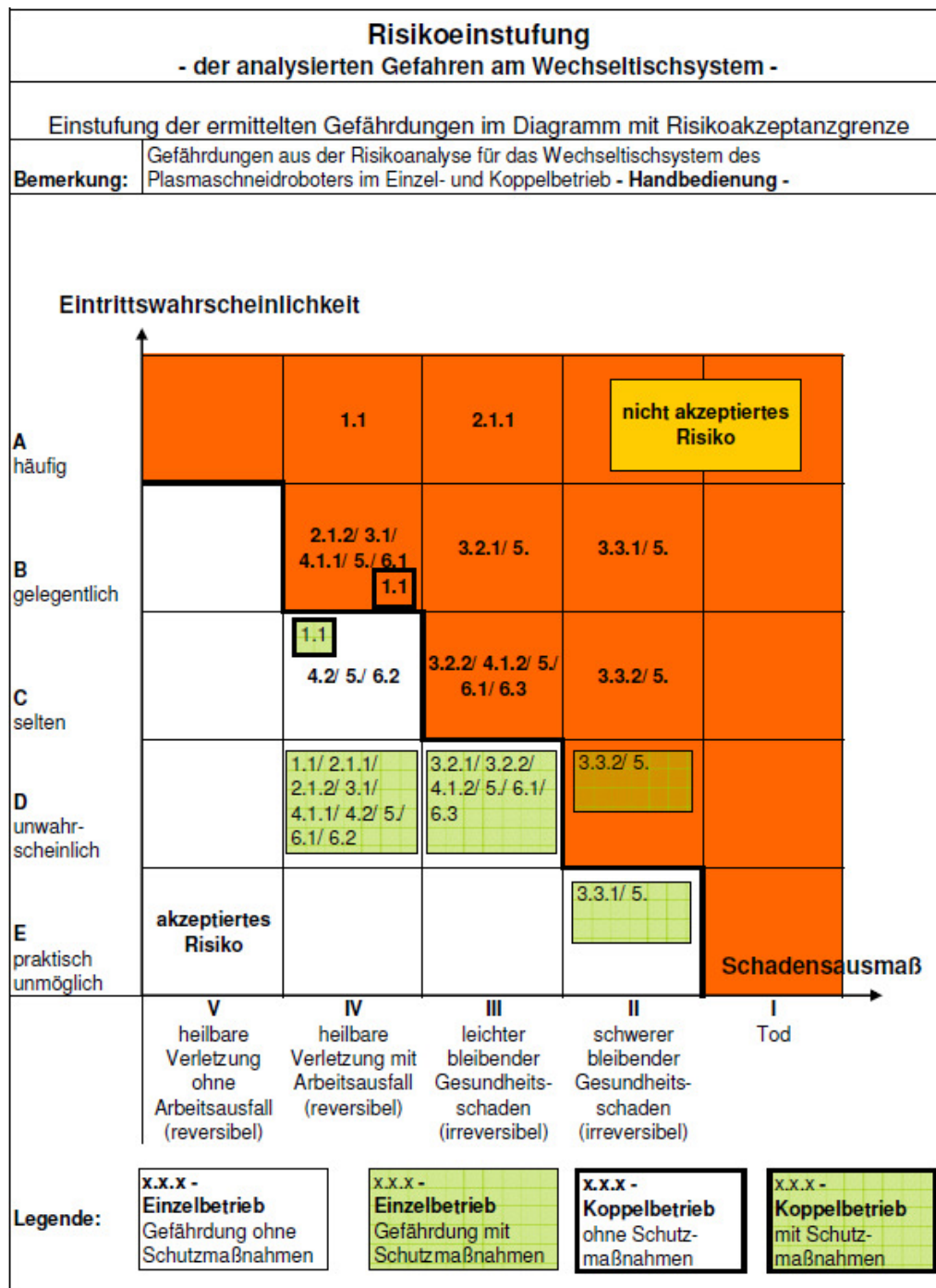


Abbildung 16 Risikoeinstufung - manuell betriebenes Tischsystem

(eigene Darstellung in Anlehnung an Armin Bojahr; Risikoanalyse und -bewertung nach der Maschinenrichtlinie)

Es ist zu sehen, dass nicht alle ausgewählten Schutzmaßnahmen ihr Ziel erreicht haben. Die Restrisiken der Gefahren 3.3.2 und 5. können nach wie vor nicht akzeptiert werden. Für die Ausarbeitung der Sicherheit sind diese zu berücksichtigen, um im Bereich unterhalb des nicht tolerierbaren Risikos eingestuft werden zu können. Alle anderen sind durch die hauptsächliche Veränderung, der Verwendung eines elektrisch gesteuerten Antriebs im Mitgängerbetrieb, in die Zone unterhalb der Akzeptanzgrenze gerutscht. Aus den Ergebnissen der Risikoanalyse folgt das Konzept für die Sicherheit im nächsten Gliederungspunkt.

4.2.3 Sicherheitskonzept

Zunächst ist zu sagen, dass die analysierten Gefahren zum großen Teil auch für das geplante angetriebene Tischsystem gelten werden. Die ermittelten Schutzmaßnahmen sind deshalb insgesamt auch für die Sicherheit der Antriebskonstruktion ausschlaggebend. Wichtigster Punkt ist dabei die Verwendung eines Totmannschalters zur Steuerung der Tische. Durch die Verbindung des Bediengeräts mit dem Schneidisch, über eine Spiralleitung mit Harting - Stecker, sind die Gefahrenbereiche während der Verfahrbewegung nicht mehr frei zugänglich. Der Steuerungsplan sieht vor, das Bedienkabel im hinteren Bereich in der Nähe der Schaltschränke anzubringen. Dabei muss die Länge des Kabels so kurz sein, dass der Bereich neben den Tischen und vor der Öffnung der Tischabsaugung nicht erreicht wird.

Diese Art der mitgängergeführten Bedienung deckt den Großteil der auftretenden Gefahren ab. Um am Fahrprozess unbeteiligte dritte Personen zu schützen, wird der gesamte Bodenbereich des Schienensystems mit einer gelb - schwarz gestreiften Markierung versehen. Der Verfahrraum ist damit als Sperrbereich deklariert. Ein Eintreten während einer Fahrbewegung von Dritten ist untersagt. Solch eine Maßnahme, schließt das unbefugte Betreten des Bereichs nicht komplett aus, wirkt aber als organisatorische Schutzmaßnahme, um auf die Gefahr hinzuweisen. Unterstützend wird eine Blitzlampe je Schneidisch angebracht. Der stattfindende Antriebsvorgang ist dadurch für jedermann sichtbar.

Für den Fall einer, trotz aller Schutzmaßnahmen, auftretenden Kollision mit dem Bediener oder dritten Personen sind zwei Not - Halt - Taster an der Schneidischvorderseite angebracht. Deren Position ist abhängig von der Erreichbarkeit. Am praktikabelsten ist daher die Montage der Schalter in Tischmitte.

Der Schutz vor den Stoß- und Quetschgefahren am Wechseltischsystem liegt, wie erwähnt, überwiegend in der Gestaltung der Steuerung der Antriebe. Die Elemente dafür sind zum Beispiel der Frequenzumrichter zur Steuerung des Fahr- und Bremsvorgangs, die Endschalter, das Bediengerät mit Zustimmschalter und die Verarbeitung aller sensorischen Signale in einer Sicherheitssteuerung. Die Auswahl und Auslegung der Bestandteile nimmt die Automatisierungsfirma vor. Aus den ermittelten mechanischen Gefährdungen in der Risikoanalyse, kann sich der Steuerungstechnikanbieter die auftretende Schwere der Verletzung herauslesen. Damit wird es für ihn möglich die Risiken anhand eines Risikografen einzuordnen und seine zu verwendende Sicherheitstechnik für den entsprechenden Performancelevel auszuwählen bzw. auszulegen¹.

¹ vgl. Siemens AG; Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen, Seite 84/142

Die getroffenen Schutzmaßnahmen zur Realisierung einer sicheren Konstruktion werden abschließend zusammengefasst.

- Bedienungskonzept - mitlaufen während der Fahrbewegung
- Anbringung Bediengerät außerhalb der Gefahrenbereiche
- Zustimmschalter am HBA
- Not - Halt - Taster an den Tischen
- Sperrbereich für den Verfahrraum deklariert
- Anfahrvorgang über Rampe des FU - langsames Beschleunigen auf Nenngeschwindigkeit

4.3 Angetriebenes Wechseltischsystem

4.3.1 Risikoanalyse und -beurteilung

Die erneute Begutachtung des angetriebenen Tischsystems mit den getroffenen Schutzmaßnahmen zielt darauf ab, eventuell neu entstandene Gefahren aufzudecken. Das Auftreten von Gefahren geschieht innerhalb der Systemgrenzen, die in Abbildung 17 für die einzelnen Lebensphasen der Wechseltische dargestellt sind. Die Zeichnung zur Ansicht der Teilsystemschnittstellen von den einzelnen Baugruppen ist der im Abschnitt 2.3 dargestellten gleich. Miteinbezogen werden muss, das Teilsystem Energiezuführung mit der Leitungstrommel.

Der Hauptgefährdung des Quetschens während der Fahrbewegung, ist durch die Maßnahme der Anbringung der Bedieneinheit außerhalb der gefährlichen Bereiche begegnet worden. Hierin besteht das erste Problem (siehe Analyse des angetriebene Systems im Anhang 20 -22, Punkt 2.2). Schaut man sich die örtliche Gegebenheit genauer an, ist der Spielraum für die Anbringung der Bedieneinheit und der Kabellänge stark eingeschränkt. Denn neben den Schaltschränken befinden sich die Federleitungstrommeln. Einerseits für die Sicherheit fördernd, denn dadurch ist der Zugang zu der Absaugung gesperrt. Doch durch eine mögliche Kollision mit der Trommel und den Anbauteilen während der Fahrbewegung ist eine neue Gefahrenquelle geschaffen. Um die auszuschließen, müsste das Kabel bis auf eine Länge von 400mm eingekürzt werden. Angesteckt am Schaltkasten mittig wäre so ein Erreichen der Bereiche neben den Tischen und vor den Leitungstrommeln ausgeschlossen.

In der Anwendung ist eine solche Anbringung aber sehr unergonomisch, denn der Schaltkasten selbst hat schon ein Tiefenmaß von 300mm. Der Bedienerstandort direkt davor, ist so ohne jeglichen Bewegungsspielraum. Zieht man außerdem die Armlänge des Bedieners mit in Betracht, wird das Erreichen der Gefahrenbereiche wieder möglich (siehe Abbildung 18). Deshalb ist die Anbringung des Handbediengerätes in der Nähe der Schaltkästen unwirksam um die Quetschgefahr zu vermeiden.

Risikobeurteilung: Bestimmung der Grenzen der Maschine						
Maschine: angetriebenes Wechseltischsystem						
Bestimmungsgemäße Verwendung, Verwendungsgrenzen:						
Das Wechseltischsystem ist ausschließlich zum aufnehmen von Blechen, Behälterböden, Rohren und anderen für den Plasmazuschnitt geeigneten Werkstücken zu verwenden. Die Tische sind nicht als Lagerplatz, Auflagebock oder Transportgerät vorgesehen.						
Die auf dem Schienensystem durch Spurkranzrollen gelagerten Tische sind zum wechselseitigen Verfahren ausgelegt. Während der Bearbeitung eines Werkstücks innerhalb der Maschinenhalle kann der andere einzeln ausgefahrenen Tisch bestückt werden.						
Ein gekoppelter Betrieb ist durch das Schließen eines Hebels an der Vorderseite der Tische möglich. Während der Verfahrbewegung ist das Rolltor der Maschinenanlage offen zu halten.						
Räumliche Grenzen:						
Systeme sowie die Einflüsse, welche die Systemgrenzen überschreiten, sind auf der folgenden Zeichnung eingezeichnet						
Zeitliche Grenzen:						
Lebensdauer der Maschine: 30 Jahre						
Verschleißteile:			zu erwartende Lebensdauer:			
- Laufräder			ca. 8 Jahre			
- Federleitungstrommel/ Feder			ca. 100000 Lastspiele - 16/Tag = 25 Jahre			
- Federleitungstrommel/ Kabel			ca. 100000 Lastspiele - 16/Tag = 25 Jahre			
- Frequenzumrichter			--			
- Antriebswellen			--			
Lebensphasen, Betriebsarten		Betroffene Personen				
	Anwender*	Dritte	Mechaniker	Elektriker	Transporteur	Entsorger
Bau			X	X		
Transport					X	
Inbetriebnahme			X	X		
Einsatz / Gebrauch	X	X				
Normalbetrieb	X	X				
Produktionsstörung			X	X		
Maschinenstörung	X		X	X		
Reinigung	X					
Instandhaltung	X		X	X		
Außerbetriebnahme			X	X		
Entsorgung						X
* Ausbildung des Anwenders: Voraussetzung Facharbeiter / volljährig - 18 Jahre						
Einsatzbereich:						
Maschine wird innerhalb der Produktionsanlage Plasmaschneidroboter der Firma AMS Technology eingesetzt, Stromversorgung mit Spannung von 400V und 16 Ampere						

Abbildung 17 Risikobeurteilung - Systemgrenzen angetriebenes Tischsystem

(eigene Darstellung in Anlehnung an Armin Bojahr; Risikoanalyse und -bewertung nach der Maschinenrichtlinie)

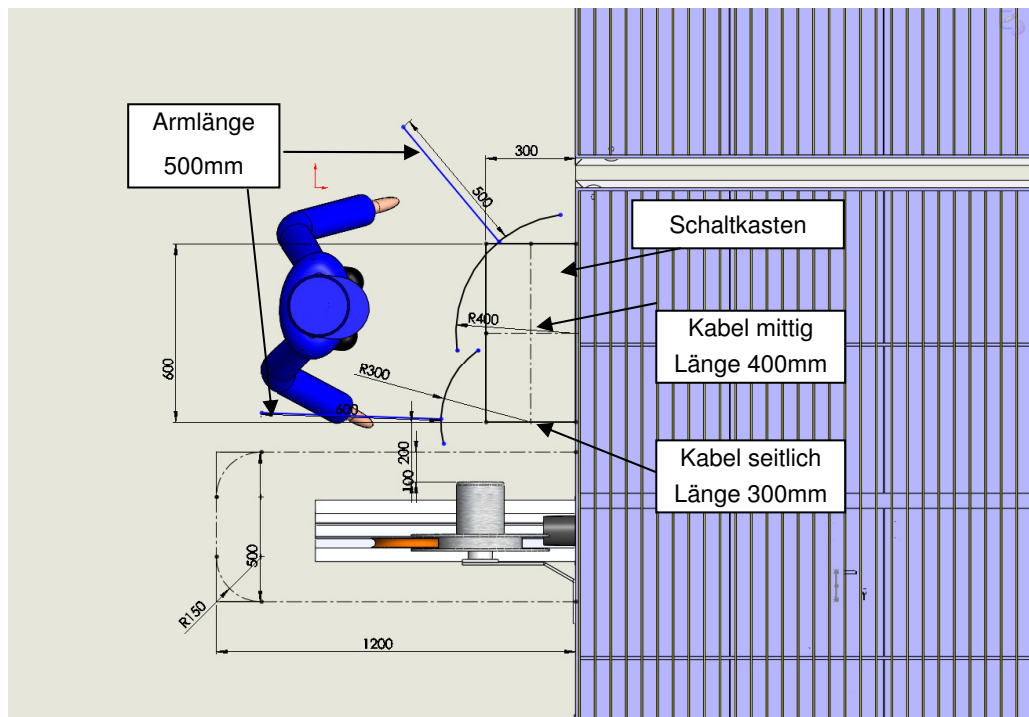


Abbildung 18 Skizze zur Bedienkabellänge

(eigene Darstellung)

Die Alternative besteht darin, das Bedienkabel an der Vorderseite der Tische mittig anzubringen. Dafür muss eine Leitung vom Schaltschrank zur Steckbuchse gelegt werden. In der Art der Installation des Handbediengeräts liegt der Vorteil, dass die Länge der flexiblen Leitung bis zu 1200mm lang sein kann. Ein Erreichen des Bereichs links und rechts der 4200mm breiten Plasmatische ist so nach wie vor ausgeschlossen. Auch der Bewegungsraum des Bedieners erhöht sich mit dieser Montageposition. Die Gefahr einer Kollision wird damit gemindert, denn im Notfall kann durch Loslassen des Zustimmschalters oder Not - Halt - Betätigung ein Bremsvorgang innerhalb von 238mm erfolgen. Die Position der Bedieneinheit, mittig vorne an den Schneidtischen, wird demnach als Schutzmaßnahme aufgenommen. Weitere Störquellen die sich im Einfahrbereich der Schneidtische befinden, sind durch die geänderte Position der Bedienung ebenfalls mit beseitigt. Dazu gehören der Aufprallbock und die Masseschalter der Plasmaschneidtische als Stolper- und Stoßgefahr.

Die Deklaration des Raumes in denen sich die Wechseltische bewegen als Sperrbereich, ist vor allem als Schutz von unbeteiligten Personen zu sehen. In der neuerlichen Analyse zeigt sich aber, dass die Einstufung des Risikos nach wie vor gleich bleibt (Gefährdungspunkt 2.2.2 - Quetschen im Bereich zwischen den Tischen). Ohne Schutzmaßnahme liegt das Risiko bei II - B und mit Schutz bei II - D. Es verändert sich nur die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Verletzung. Die kann nicht als praktisch unmöglich, Stufe E, eingestuft werden. Denn eine Zutrittskontrolle des Sperrbereichs über Lichtschranken in Verbindung mit einer Antriebsnotabschaltung ist nicht eingeplant. Das Restrisiko liegt demnach außerhalb der Akzeptanzgrenze.

Eine Tolerierung des Restrisikos ist nur mit der Bedingung einer strikten Betriebsanweisung möglich. So kann die Grenze oberhalb des Feldes II - D gezogen werden (siehe Abbildung 19). Mit diesem Schritt befinden sich alle am System anzutreffenden Risiken durch die Schutzmaßnahmen im Akzeptanzbereich.

Die Betriebsanweisung im Anhang 23 wurde durch die Fachkraft für Arbeitssicherheit der Firma AMS in Abstimmung mit dem Konstruktionsprozess erstellt. Darin sind die Verhaltensregeln für die Anwendung der angetriebenen Wechseltische zusammengefasst. Vorherrschende Risiken am Arbeitssystem Plasmatische sind im untenstehenden Diagramm aufgeführt im Bezug zu der Risikoanalyse im Anhang 20 -22.

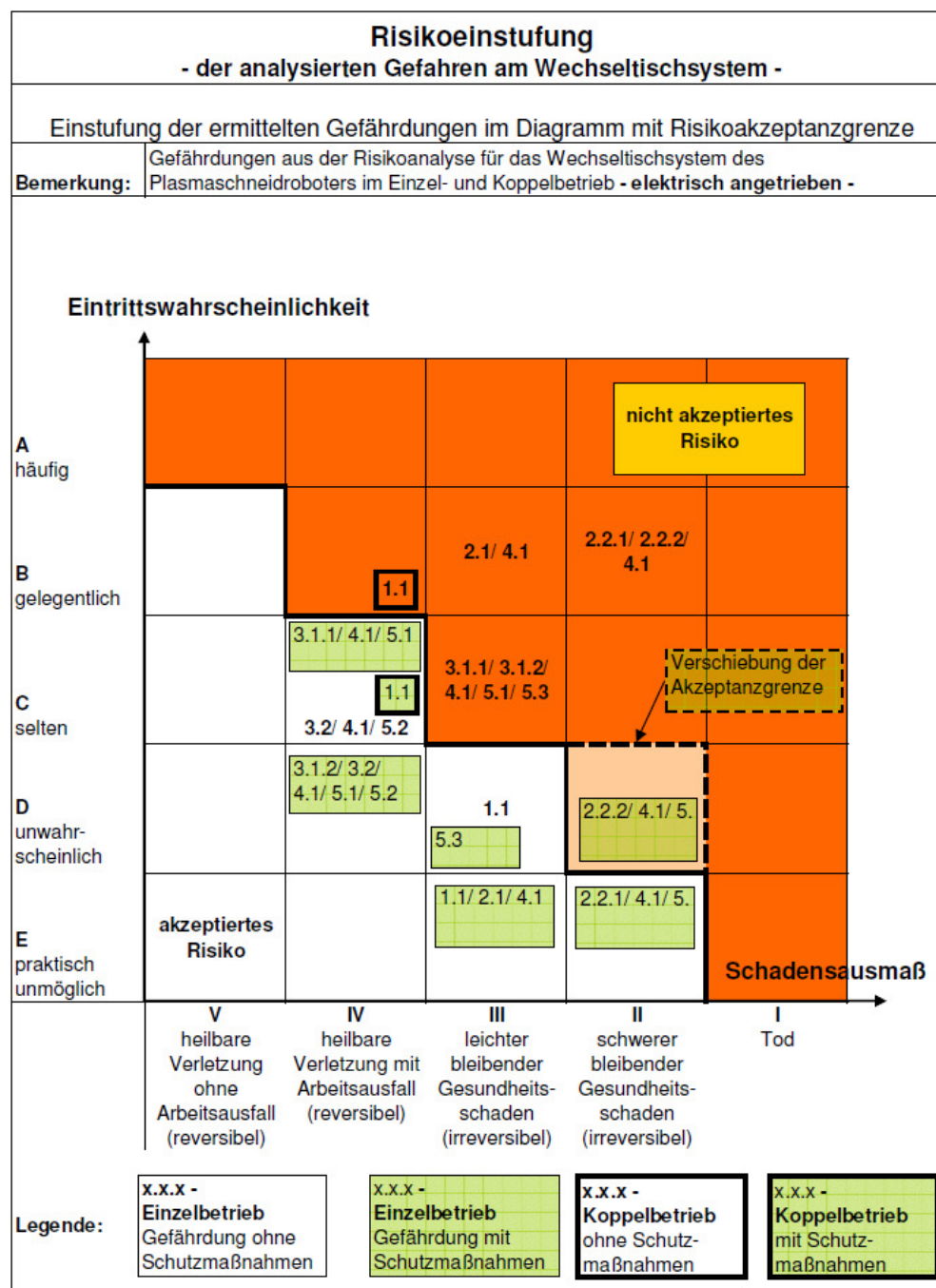


Abbildung 19 Risikoeinstufung - elektrisch angetriebenes Tischsystem

(eigene Darstellung in Anlehnung an Armin Bojahr; Risikoanalyse und -bewertung nach der Maschinenrichtlinie)

5 Schritte zur Umsetzung der Konstruktionslösung

5.1 Fertigungsplan

In der Herstellung der Einzelteile für die jeweiligen Baugruppen steht ein Zeitraum von vier Wochen zur Verfügung. Orientiert wird sich dabei an dem erstellten Montageplan (vgl. Abbildung 14). Dieser ist abhängig von den Lieferzeiten der einzelnen Kaufteile. Als Vorgang steht im Plan: „Fertigung der Halterungen für Stufe 1“. Darin enthalten sind alle Anbauteile für die Federleitungstrommel, wozu alle Einzelteile der Baugruppe zwei gehören. Alle darin aufgeführten Komponenten stellen den Großteil der zu fertigenden Einzelteile dar. Weitere notwendige Teile aus Baugruppe 3 sind lediglich vorzubereiten und während der Montage an die Gegebenheiten anzupassen. Der Fertigungsablauf gestaltet sich durch die Herstellung der Teile in unten aufgeführter Reihenfolge:

- fräsen der Flanschplatte - Pos. 2.5
- lasern und kanten des Trommelhaltewinkel - Pos. 2.2
- drehen der Umlenkrolle - Pos. 2.9
- drehen des Lagerbolzens - Pos. 2.10
- herstellen durch lasern des Anschlussblechs Umlenkrolle - Pos.2.11

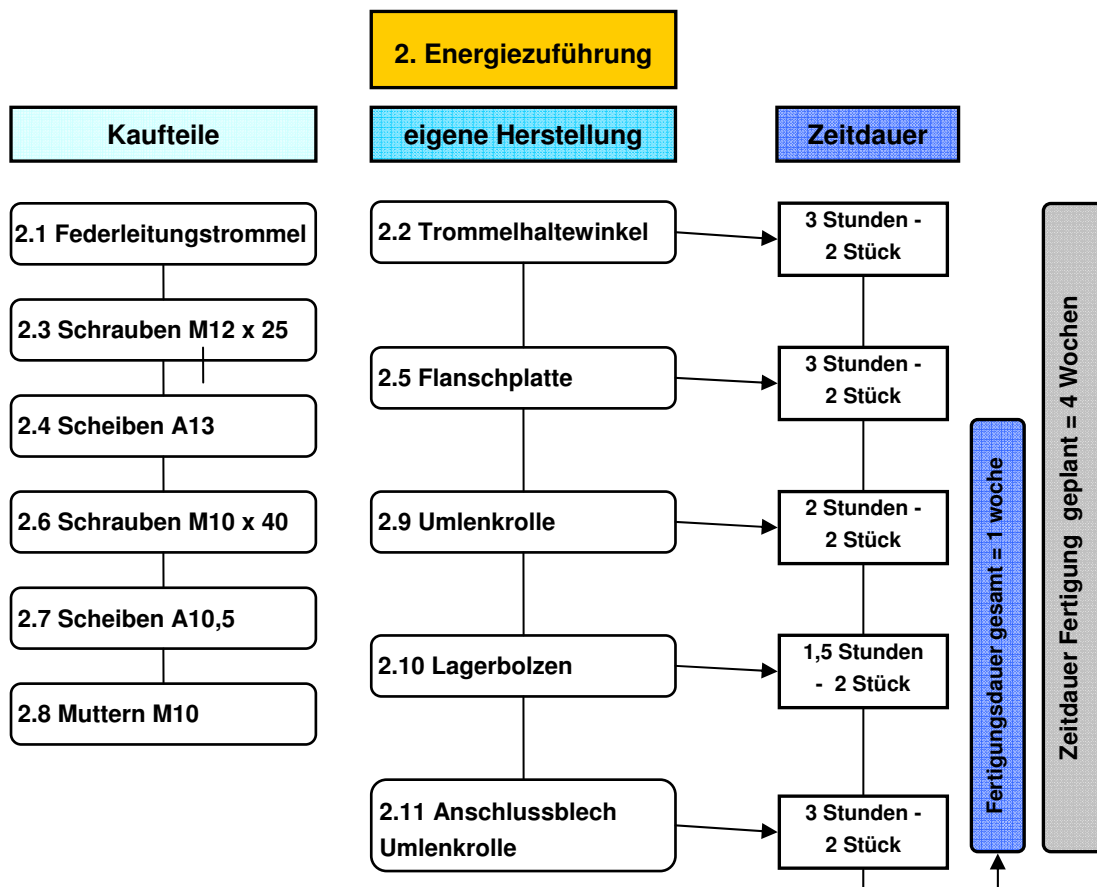


Abbildung 20 Fertigungsablauf Einzelteile Baugruppe Position 2
(eigene Darstellung)

Die gesamte Zeitdauer für die Herstellung der Einzelteile beträgt 12,5 Stunden. Das sind reine Fertigungszeiten, die sich auf Herstellung der Teile in Eigenleistung innerhalb der Firmengruppe beziehen. Dabei können Pos. 2.2 und 2.11 in der Omega AG in Kooperation gelasert und gekantet werden. Da insgesamt nur vier Teile mit dem Laser bearbeitet werden, wird die Anzahl in eine andere Laserbestellung aus der laufenden Auftragsbearbeitung integriert. Für das Laserschneiden wird meist firmeneigenes Material verwendet, welches dann zur jeweiligen Bearbeitungsfirma transportiert und nach der Bearbeitung wieder geholt werden muss. So begründet sich auch die Gesamtfertigungsdauer von einer Woche. Durch die Anlehnung in der Planung an die Lieferzeiten der Kaufteile stehen ohnehin vier Wochen für die Fertigung zur Verfügung. Das heißt, es ist genügend Spielraum zur Lösung möglicher Schwierigkeiten während des Fertigungsprozesses vorhanden.

5.2 Problemstellen

Während des Planens, der Montage und der Fertigung, sowie in der Sicherheitsbetrachtung ist aufgefallen, dass der Ablagevorgang des Stromkabels über die Umlenkrolle nicht genügend beachtet wurde. Hierfür ist der Freiraum in der Anordnung fluchtend zur Schiene nicht ausreichend. Es stört der momentane Aufprallbock für die Endlagensicherung. Die Ablage des Kabels erfolgt im Abstand von 548mm zum Schneidstisch. Da aber das Schienensystem, bei Endlagenposition der Tische, bündig zur Schneidstischrückwand abschließt, fehlt die Schienenführung für die Umlenkrolle.

Als Lösung muss deshalb der Auffahrbock seitlich versetzt werden und eine Führungsnut zur sicheren Kabelablage in den Boden gefräst werden. Bei Versetzung des Prallbocks muss dementsprechend auch der Gummipuffer am Fahrwagen in seiner Position verändert werden. Dazu ist eine Orientierung an den vorhandenen Halteblechen mit Ergänzung von zwei Stegblechen als Lösung vorstellbar. Die Fertigung dieser Teile und der Herstellaufwand der Nut fehlen im Planungsumfang der Montage und der Fertigung.

Die sichere Kabelablage bedingt auch einen sauberen Schienenzwischenraum. Da während der Plasmabearbeitung Schlackereste anfallen, die sich zusammen mit anderen Verunreinigungen in der Schiennut ansammeln, kann das Kabel während des Abrollens beschädigt werden. Deshalb ist bei der Montage der Umlenkrolle direkt davor eine Schienenreinigungsbürste anzubringen. Der Anbau der Bürste ist an der Position der Gummipuffer möglich. Dort befindet sich momentan schon ein solches Reinigungssystem. Für den Zweck einen sauberen Schienenzwischenraum zu gewährleisten, ist das jedoch zu verändern. Die Bürsten müssen verlängert werden, um bis in den Freiraum der Schienen hineinreichen zu können. Die derzeitige starre Halterung der Bürsten ist durch eine flexible, die Unebenheiten der Fahrbahn ausgleichende Aufnahme zu tauschen. Da bereits ein Schienenreinigungssystem an den Fahrwägen vorhanden ist, wurde keine völlig neue Lösung entwickelt. Das Referenz-

system ist in Abbildung 4, mit den unter den Gummipuffern befestigten Bürsten, zu sehen. Während der Montage des Antriebssystems ist das vorhandene Reinigungssystem an die Gegebenheiten anzupassen. Als Bedienanweisung besteht außerdem die Anordnung, jeweils vor dem Aus- und Einfahren der Tische die Anlage auf ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen, was die Überprüfung des Schienensystems auf Sauberkeit mit einschließt.

Hinzuzufügen ist noch die problematische Wartung der Antriebe. Durch die engen Platzverhältnisse unterhalb der Schneidtische ist ein freier Zugang zu den Motoren nicht gegeben. Zur Folge hat das die Notwendigkeit des Aufbockens der Tische um die Instandhaltungsarbeiten zu ermöglichen. Eine Möglichkeit dies zu verbessern besteht in dem Ausheben einer Reparaturgrube im Betonboden der Halle. Bei einer Position innerhalb des Schienenstranges direkt unter den eingefahrenen Tischen ist so ein sicherer Zugang für die Wartungsarbeiten möglich. Doch solch ein Zugang ist erst nach der erfolgreichen Umsetzung der Antriebslösung zu planen. Momentan bleibt der schwierige Wartungszugang erhalten.

5.3 Meilenstein Budgetfreigabe

Eine Einordnung der Fertigungs- und Montagepläne in den gesamten Projektplan ist im Anhang 24 durchgeführt worden. Daraus lässt sich ablesen, dass das eigentliche Projekt erst nach dem erfolgreich durchgeführten Meilenstein der Budgetfreigabe starten kann.

In diesem Baustein des Projekts wurde zusammen mit dem bis dato preisgünstigsten Steuerungstechnikanbieter das gesamte Konzept erörtert und nach weiteren erschwinglichen Lösungen gesucht. Grund dafür ist die nach wie vor teure Automatisierung der Wechseltische mit einem Anteil von 50% an den Gesamtkosten.

Das Meeting zwischen der Geschäftsleitung, dem Konstrukteur und der Automatisierungsfirma erbrachte im Ergebnis folgende Änderungen:

Die Verwendung von sechs Rollenendschaltern wurde gegen die Anzahl von vier Schaltern getauscht. Das heißt die Vorabschaltung der Geschwindigkeit wird nun nicht mehr über den Endschalter 3 ausgelöst. Damit ergibt sich für die Position von Schalter 2 nun ein Maß von 238mm generatorischen Bremsweg plus den Bremsweg von 34mm zur Endabschaltung (vgl. Bild 12). Das Signal für die Abschaltung der Antriebe mit dem Einfallen der Haltebremse kommt nun nicht mehr vom Endschalter 2, sondern wird intern in der Steuerung nach Ablauf der Verzögerungszeit ausgelöst.

Eine weitere Veränderung besteht in der Berücksichtigung von nur noch einer Geschwindigkeit. Dadurch entfallen 2 Drucktaster am Handterminal für die langsame Geschwindigkeit. In der Steuerung soll bei Betätigung der Fahrtaste nun automatisch im Zeitfenster von 2 Sekunden auf Nenngeschwindigkeit beschleunigt werden. So fährt der Fahrwagen immer erst langsam an und bewegt sich dann mit voller Geschwindigkeit bis zum Loslassen der Taste.

Die nun neu entstandenen Rahmenbedingungen wurden zur Aufgabenstellung für die Automatisierungsfirma ein geändertes Angebot zu erstellen. Damit konnten alle bisher erarbeiteten Kostenpunkte mit dem neuen Angebot noch einmal zusammengefasst werden.

Bewusst wurde erst nach der Erarbeitung des gesamten Fertigungsablaufes die Kostenzusammenfassung erstellt, welche im Anhang 25 als Tabelle vorliegt. Dadurch war es möglich den gesamten im Vorfeld erfassbaren Arbeitsaufwand in die Kosten mit aufzunehmen. Ermittelte Probleme und dadurch erfasste Änderungen in der Konstruktion konnten so ebenfalls mit berücksichtigt werden. Beteiligt an den Gesamtkosten des Antriebsprojekts sind die Bereiche des Einkaufs mit der Beschaffung der nötigen Materialmengen, die Fertigung mit der Herstellung der Einzelteile, die Montage und abschließend die Installation und Inbetriebnahme der Steuerungstechnik inklusive aller Sicherheitseinrichtungen.

Für den Materialbedarf kommen insgesamt 5800 Euro zusammen. Berücksichtigt wurden dabei die Antriebskomponenten mit den Motoren, Wellen und Rädern. Das abschließende Angebot des Motorenherstellers mit der Zusammenfassung als Paketpreis reduzierte die Kosten noch einmal. Alle anderen Komponenten wie die Energiezuführung sind zur Kostenvorkalkulation gleich geblieben (vgl. Abbildung 21).

Die mechanischen Montagekosten entsprechen alle der Vorkalkulation. Eine weitere Reduzierung der Kosten liegt nur in dem Wegfall der Rollenkippschalter und dem damit verbundenen verringerten Aufwand in der Auslegung und Inbetriebnahme der Steuerung. Das geänderte Angebot der Automatisierungsfirma hat nun einen Wert von 7890 Euro, was nur einen Unterschied von 290 Euro zum vorhergehenden Angebotswert darstellt. In Summe ergeben sich nun nach dem abschließenden Einrechnen aller Bestandteile und Angebotsänderungen 16583 Euro gesamt. Damit ist durch die Änderung keine wesentliche Reduzierung eingetreten.

Eine Budgetfreigabe wird daher unter dem Gesichtspunkt dieser hohen Kosten nicht stattfinden. Die Begründung dafür liegt in der Plasmaabteilung selber. Denn die Investition liefert offensichtlich nur einen Vorteil in der einfacheren Handhabung der Wechseltische. Ein Einfluss auf die Arbeit des Plasmaschneidroboters besteht nicht direkt. Der Zusammenhang zwischen dem automatisch angetriebenen Wechseltischen und der Arbeitsqualität der Mitarbeiter lässt sich nur schwer herleiten. Ein Ansatz ist der Wegfall der schweren Arbeitsaufgabe die Tische zu schieben. Daraus kann ein Zuwachs der Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter entstehen. Jedoch ist der beschriebene Effekt kaum messbar und schlägt sich wiederum nicht direkt auf die Produktivität des Schneidroboters nieder. Auch durch die geringen Zykluszeiten an der Anlage mit überwiegender Einzelteillfertigung erschließt sich eine solch hohe Investition für die Geschäftsleitung nicht. Schließlich endete eine weitere Zusammenkunft zur Klärung des Budgets, mit dem Ansatz die gesamte Antriebskonstruktion noch einmal neu zu bewerten und mögliche Alternativen zu testen.

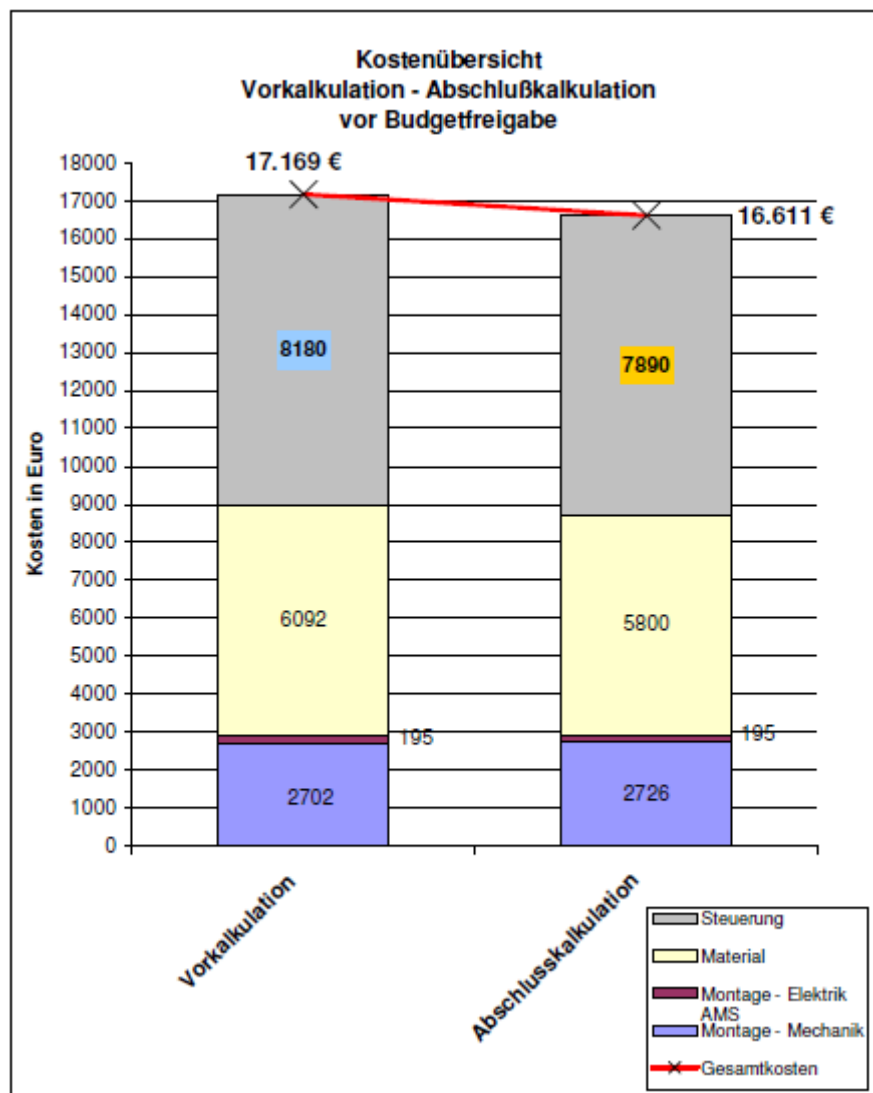


Abbildung 21 Vergleich Vorkalkulation - Abschlußkalkulation
(eigene Darstellung)

6 Antriebsprojektstand

6.1 Problem Budgetfreigabe - neue Gedanken

Gegenwärtig steht das Antriebsprojekt an dem Punkt der Freigabe eines Budgets um die ersten Bestellungen, beispielsweise für die Antriebsmotoren, auslösen zu können. Da eine Freigabe jedoch nicht erfolgt, ist hier im Moment ein Stillstand eingetreten. Neue Aufgabe um den Zustand am Wechseltischsystem zu verbessern, ist trotz der ausgearbeiteten Antriebskonstruktion demnach die Suche nach alternativen Lösungen. Durch die Bewertung der Zentralantriebslösung mit „gut“ im technischen und wirtschaftlichen Bereich wurde die bisherige Lösung vollständig ausgearbeitet, so dass nun jederzeit eine vollständige Umsetzung erfolgen kann. Die Fertigungspapiere liegen komplett vor, die Materialmengen und Komponenten sind innerhalb der Stücklisten erfasst und anhand des Projektablaufplanes ist der Bau des angetriebenen Wechseltischsystem zeitlich eingeordnet und festgelegt.

Im Kapitel 5.3 wurde schon angemerkt, dass insgesamt sehr hohe Kosten das Projekt begleiten. Das notwendige Gesamtbudget beläuft sich auf gut 16600 Euro. Nimmt man die Ausfahrgeschwindigkeit als Gradmesser zeigt sich, dass eine Erhöhung nicht stattgefunden hat und deswegen kein wirtschaftlicher Vorteil durch die Konstruktion entstanden ist. Ein kürzerer Zyklus beim Rüsten der Schneidtische ist zwar im Moment aufgrund der überwiegenden Einzelteilerfertigung nicht zwingend notwendig, doch mit einer derartigen Verbesserung wären Maßnahmen vorbereitet um in Zukunft kürzere Zyklen zu fahren und kleine Serien zu bearbeiten. Die Investition zielt folglich nur auf die bisher nicht vorhandene Sicherheit am Tischsystem ab.

Diese würde sich erheblich verbessern in Bezug auf den derzeitigen Zustand des Tischsystems. Eine Summe von mehr als 16000 Euro aufzubringen um die Sicherheit innerhalb der Plasmaabteilung zu erhöhen, ist durchaus vertretbar. Jedoch fehlt nach wie vor der wirtschaftliche Mehrwert der Antriebskonstruktion für die Abteilung. Ohne einen solchen ist die Akzeptanz der Konstruktionslösung innerhalb des Betriebes und bei der Geschäftsleitung schwer zu erlangen. Man kann die Lösung daher als eine innovative Lösung darstellen, ohne die jedoch die Plasmaschneidanlage nach wie vor die gleiche Arbeit und Arbeitsqualität liefert. Vorausgesetzt man lässt die Schwere der Bedienung des Tischsystems außer Acht.

Deshalb stellt sich die Frage nach einer völlig anderen Lösung, welche womöglich viel einfacher umzusetzen ist. Wie könnte so eine alternative Variante aussehen? Im Vorfeld der Konstruktionsausarbeitung wurde das Hauptaugenmerk auf den Antrieb der am Fahrwagen befindlichen Räder gelegt. Daraus ergaben sich mögliche Lösungen welche dann zu dem Zentralantrieb führten. Um die Anforderung, die manuelle Bedienung der Tische zu ersetzen, noch einmal neu zu überlegen, ist der Blickpunkt auf die Grundfunktion der Aufgabe zu richten. Legt man den Schwerpunkt nur auf die

reine Bewegung der Fahrwägen, ergeben sich neue Möglichkeiten. Die Tische sollen durch Schieben oder Ziehen bewegt werden. Die Arbeitskraft Mensch soll dabei ersetzt beziehungsweise unterstützt werden. Wie kann nun solch eine Unterstützung aussehen?

Zum einen durch die vorgestellte und ausgearbeitete Konstruktionslösung, zum anderen aber durch ein Ziehen oder Schieben des Tisches mit einem anderen Hilfsmittel. Bei einiger Überlegung kommt man auf eine Unterstützung durch ein Zugfahrzeug. Dieses kann die nötige Kraft zum Verfahren der Tische problemlos aufbringen und so den großen Kraftaufwand des Menschen gegen Null senken. Als Fahrzeug bietet sich ein mitgängergeführtes Zugfahrzeug an. Mit einem elektrischen Antrieb ausgestattet, ist über eine Koppelstange das Heraus- und Hineinschieben möglich. Die Geschwindigkeit für solche Art von Maschinen darf dabei die Schrittgeschwindigkeit des Bedieners nicht überschreiten. Vorgegeben wird die Forderung in der Maschinenrichtlinie Abschnitt 3.3.4. - Verfahren mitgängergeführter Maschinen.

Welche Zuggeräte kommen für die Anwendung in Frage? In die engere Auswahl kam nach näherer Betrachtung ein deichselgeführter Elektro-Gabelhubwagen. In der Bedienung ähneln diese Geräte dem für die Zentralantriebskonstruktion erarbeiteten Steuerungskonzept. An der Deichsel angebracht ist der Fahrschalter. Dieser lässt sich einmal nach vorn kippen und nach hinten, so wird die Bewegungsrichtung gesteuert. Sobald der Schalter unbetätigt bleibt, stoppt auch das Fahrzeug. Eine weitere Sicherheitsfunktion steckt in der Deichsel selber. Bei zu schnellem Anfahren und gleichzeitigem Stehen bleiben des Bedieners wird die Deichsel in die Waagerechte gezogen und ein Schalter wird betätigt, welcher die Antriebe sofort stillsetzt. Gleiches passiert bei einer Rückwärtsbewegung in Richtung des Fahrers in vertikaler Stellung der Deichsel. So werden mögliche Gefahren wie beispielsweise die Kollision mit dritten Personen oder das eigene Umfahren ausgeschlossen. Unterstützend wirkt dabei der an der Front der Deichsel angebrachte Druckschalter. Seine Wirkung ist das Umschalten der Fahrtrichtung bei Betätigung. Damit wird im Falle einer Kollision mit dem Gerät, der Antrieb sofort in seiner Drehrichtung umgekehrt und das Fahrzeug bewegt sich vom Bediener weg.

Die kurze Beschreibung der Funktionsweise zeigt den Vorteil des externen Antriebssystems, denn die gesamte für den sicheren Wechseltischbetrieb erforderliche Sicherheit steckt in diesem Gerät. Das heißt, im Zentralantrieb ist die Sicherheit über die Installation der Steuerung und der Energiezuführung für die Antriebe, die mechanische Montage der Motoren und dem Einbau der Sensoren herzustellen. Der sich in der Risikoanalyse herauskristallisierenden Bedingung, der ortsbindenden Anbringung der Bediengeräte, wird durch die deichselgeführte Lösung entsprochen.

Inzwischen wurde die neue Idee insoweit verfolgt, dass mögliche Zuggeräte für die Umsetzung angefragt wurden. Dabei sind Anfragen an die Hersteller gegangen. Es zeigt sich in einem ersten Vergleich, dass für das Zugfahrzeug, mit den ausreichen-

den Leistungsdaten, nur gut die Hälfte der für den Zentralantrieb benötigten Kosten anzusetzen sind. Das günstigste Angebot liegt derzeit bei 8400 Euro und auch das teuerste mit 12000 Euro liegt weit unter den Kosten für die Antriebskonstruktion. Es zeichnet sich für die externe Antriebsvariante ein hoher wirtschaftlicher Vorteil ab. Doch auch ein weiterer betrieblicher Nutzen stellt sich ein. Der elektrisch angetriebene Hubwagen macht gleichzeitig ein Be- und Entladen der Schneidtische mit den zu schneidenden Werkstücken möglich. Anforderung an das Gerät ist dabei eine Tragkraft von 1,6 Tonnen, welche durch die Gewichtsreferenz einer Blechtafel im Großformat (1500 x 3000mm) mit 1440kg bei 40mm Blechdicke zu Stande kommt.

Wird diese Lösung weiterverfolgt, ist für das innerbetriebliche Transportfahrzeug eine geeignete Kupplung zu konstruieren, welche das Andocken des Fahrzeugs an den Fahrwagen problemlos und sicher ermöglicht. Hilfreich ist dabei ein Blick in die DIN 15170 - Anhängerkupplungen für Flurförderzeuge. Darin sind Formen von Kupplungen beschrieben welche die Sicherheitsanforderungen für Schlepper und Zugfahrzeuge erfüllen. Eine mögliche ist die Ausführung der Anhängervorrichtung nach DIN 15170 - G - 3, zu sehen in Abbildung 22.

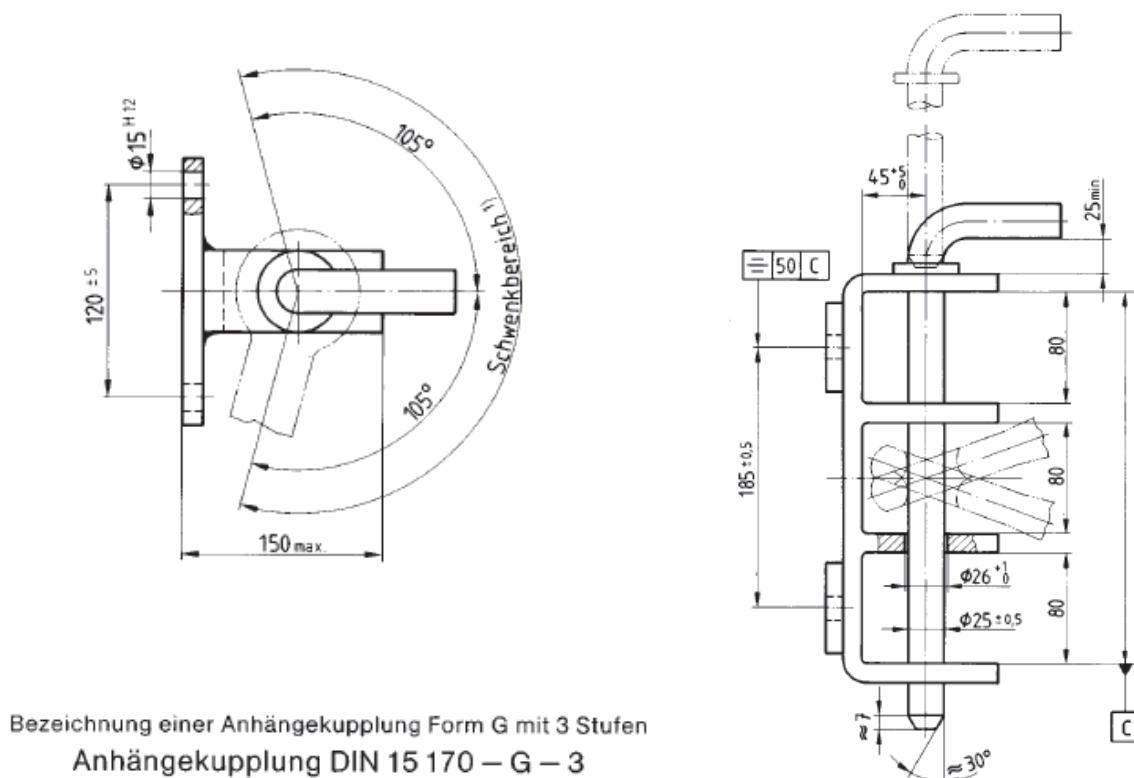


Abbildung 22 Anhängerkupplung nach DIN 15170 - G - 3

(Auszug aus DIN 15170: 1987-03, Anhängerkupplungen für Flurförderzeuge)

Mit dem Anschweißen der Kupplung direkt am Profil des Fahrwagens wird nur noch eine Verbindung zum Zugfahrzeug benötigt. Dafür ist an dem für die Anwendung ausgewählten Deichsel - Zuggerät eine Lasche anzuschrauben, mit der in die Kupplung eingefahren werden kann, um schließlich die Verbindung durch den Bolzen herzustellen.

Der Abschluss der Betrachtung der neuen Antriebsvariante schließt mit einem durchgeführten Fahrversuch ab. Zum Einsatz kam dabei ein Elektrozuggerät mit einem Fahrmotor von 1,2kW Leistung. Das Eigengewicht des Geräts betrug 960kg. Geprüft wurde vor allem, ob eine Beschleunigung der Tische einzeln und gekoppelt erfolgen kann. Bewertet wurde dabei die Leichtgängigkeit im Fahrbetrieb. Das heißt: Wie ist ein Schieben oder Ziehen der Fahrwagen mit dem Gerät möglich, kaum machbar, gut oder problemlos in der Anwendung? Die ausgefüllten Protokolle des Fahrversuchs finden sich im Anhang 26 - 27.

Der Test wurde erfolgreich abgeschlossen. Die durchschnittliche Bewertung war der „problemslose Betrieb“. Für die Betriebsart Koppelbetrieb zeigte sich beim Ausfahren ein leichter Schlupf am Antriebsrad. Wenn jedoch im Anfahrvorgang die Beschleunigung vorsichtig durchgeführt wurde, war kein Schlupf feststellbar. Das Anfahren und auch die Bremsvorgänge im Not-Stopp und das generatorische Bremsen wurden hier mit „Gut“ eingestuft. Beim Versuch eines Not-Halts zeigte sich das innerhalb von ca. zwei Sekunden das Zuggespann zum Stehen kommt. Dabei legt der Fahrwagen einen Weg von gut 40cm bis zum endgültigen Stillstand zurück.

Die weitere Verfolgung dieser Form des externen Antriebs der Wechseltische wird demnach eine Verbesserung der Not - Stopp - Eigenschaften fordern. Realisiert werden kann das durch Verwendung eines Zuggeräts, welches ein höheres Eigengewicht besitzt. Weiterhin ist durch eine Fahrerschulung und genaue Bedienanweisung die Sicherheit in der Anwendung des Systems verbesserbar. Mit einem sich anschließenden Kostenvergleich der verschiedenen elektrischen Zuggeräte und der Gegenüberstellung zu den Zentralantriebskosten wird das Projekt fortgeführt. Die Tendenz zeigt im Moment in Richtung der externen Antriebsvariante als Lösung, für die eine Budgetfreigabe wahrscheinlicher ist.

6.2 Abschlussbemerkungen zum Zentralantrieb

Die durch den hohen Kostenfaktor neu entstandene Lösung des Antriebs der Tische durch ein externes Hilfsmittel ergab sich erst am Ende dieses Projekts. Zu dem Zeitpunkt galt der Zentralantrieb als einzig Erfolg versprechende Variante. Anhand dessen werden für das Projekt die abschließenden Thesen ausschließlich in Bezug zur erarbeiteten Konstruktion aufgestellt. Vorweg ist zu sagen, dass ein mitgängergeführtes mittels Getriebemotoren angetriebenes Wechseltischsystem für die Abteilung Plasmazuschnitt eine sinnvolle und innovative Antriebslösung darstellt.

Der Anwenderkreis für die Bedienung der Schneidtische erhöht sich durch den Wegfall der nur für gut zehn Prozent erfüllbaren Aufgabe des manuellen Schiebens der Tische (vgl. Abschnitt 1.3 und 2.2). Mit der mitgängergeführten Bedienung wurden eine ergonomische und eine die Sicherheitsanforderungen erfüllende Steuerungsart gefunden. Mit dieser Form des Tischantriebs und der Erarbeitung des Sicherheitskonzepts aufgrund der Risikoanalyse wurde ein den Anforderungen der Maschinenrichtlinie entsprechendes Wechseltischsystem geschaffen. Die Sicherheit in der Abteilung Plasmazuschnitt erhöht sich demnach durch die Antriebskonstruktion.

Die notwendige Energiezuführung an die Motoren findet in der Variante mit den Federleitungstrommeln eine gute Lösung. Alle Anforderungen an die Fahrbahn sind damit erfüllt, denn mit der Ablage der Stromleitung im Schienenzwischenraum bleibt die Fahrbahn nach wie vor unbeeinträchtigt in Bezug auf die freie Befahrbarkeit.

Weitere sich an das System stellende Forderungen sind berücksichtigt worden. Der Montageaufwand für die Wellen und Motoren ist gering, durch die Verwendung von herstellergleichen Naben und Verbindungswellen. Das sicherte die genaue Passform der Einzelteile zueinander. Der Mindestforderung nach einer Geschwindigkeit von 10m/min wurde durch die Verwendung des Getriebemotors Rechnung getragen. Dieser zeichnet sich außerdem durch eine wartungsarme Bauart aus.

Literaturverzeichnis

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 9.6.2006, RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17.Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)

AMS Technology GmbH; Firmenfotos und Dokumentationsunterlagen

Carl Hanser Verlag; Gerhard Hoenow, Thomas Meißner: Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau., 3. Auflage, Leipzig, 2010

Carl Hanser Verlag; Klaus-Jörg Conrad: Grundlagen der Konstruktionslehre., 5.Auflage., München, 2010

Demag Cranes & Components GmbH; Katalog: Demag / Radblock – System DRS, 2012

Demag Cranes & Components GmbH; Katalog: Getriebemotoren, 2012

DIN 33411 -5: 1999-11; Körperkräfte des Menschen - Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte

DIN EN 349: 2008-09; Sicherheit von Maschinen - Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen

DIN 5480-2: 2006-05; Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser –Teil 2: Nennmaße und Prüfmaße

DIN 15170: 1987-03; Flurförderzeuge - Anhängerkupplungen - Anschlussmaße, Anforderungen, Prüfungen

DIN EN ISO 12100-1: 2011-03; Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung

EN ISO 13849-1: 2006, Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design

Euchner GmbH & Co. KG; Katalog: Handbediengeräte/ Handräder, 2012

Europa Verlag; Tabellenbuch Metall., 55.Auflage, 2011

Siemens AG; Patrick Gehlen: Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen., 2. Auflage, Berlin, München, 2010

Springer Verlag; Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechte Produkte., 4. Auflage, Berlin, Heidelberg, 2011

VDE Verlag; Friedrich Wilhelm Garbrecht, Joachim Schäfer: Das 1 x 1 der Antriebsauslegung – Wegweiser für Anfänger und Profis., 1994

VDI - Richtlinien; Konstruktionsmethodik Technisch-wirtschaftliches Konstruieren,
Blatt3: Technisch-wirtschaftliche Bewertung., Ausschuss Technisch-wirtschaftliches
Konstruieren, VDI 2225 November 1998

Umwelttechnik Bojahr; Armin Bojahr: Risikoanalyse und -bewertung nach der Ma-
schinenrichtlinie., Berg, 2008,

in: http://www.u-t-b.de/de/pdf/Risikoanalyse_nach_der_Maschinenrichtlinie.pdf

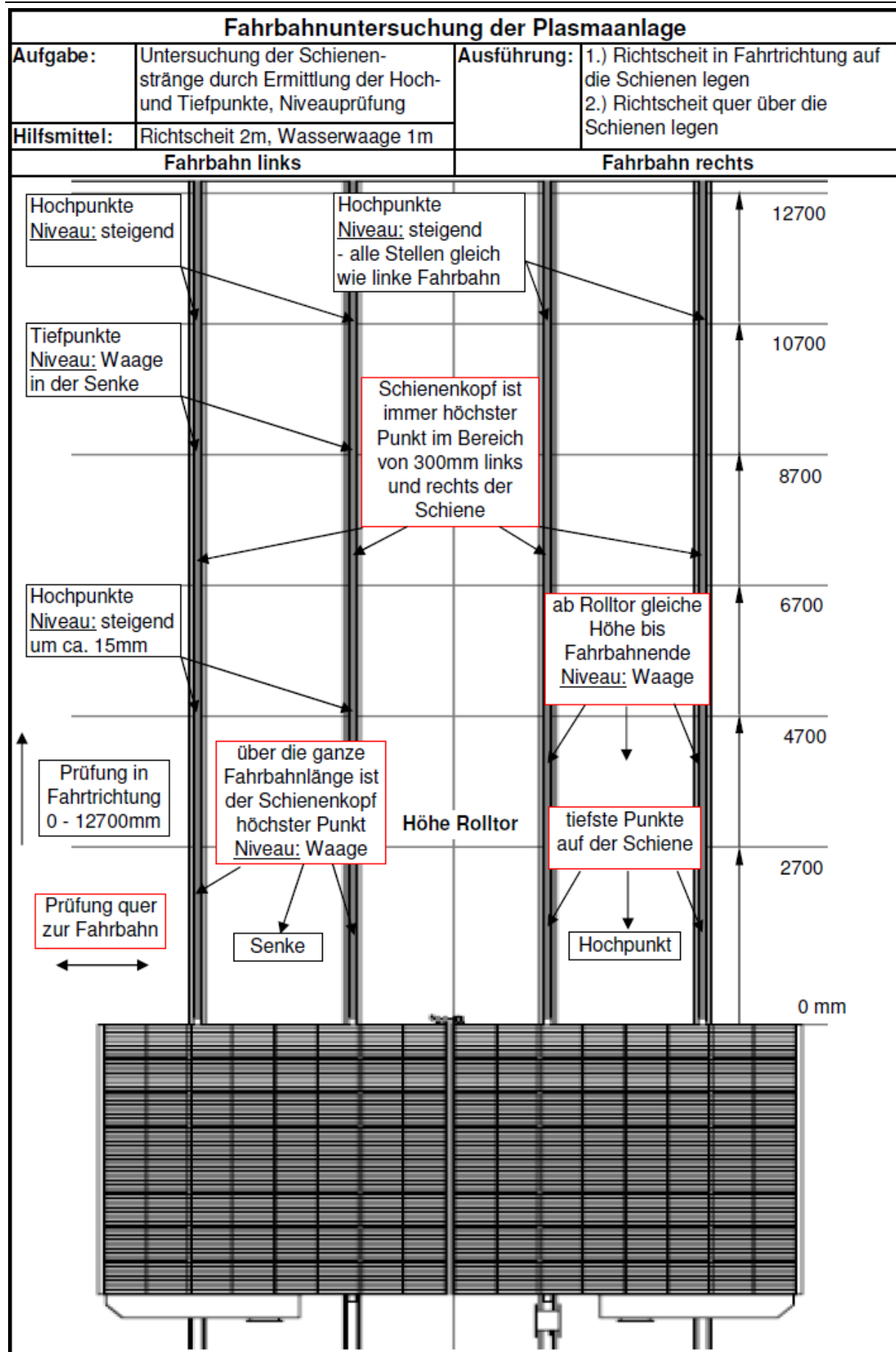
(06.07.2012)

Anhangverzeichnis

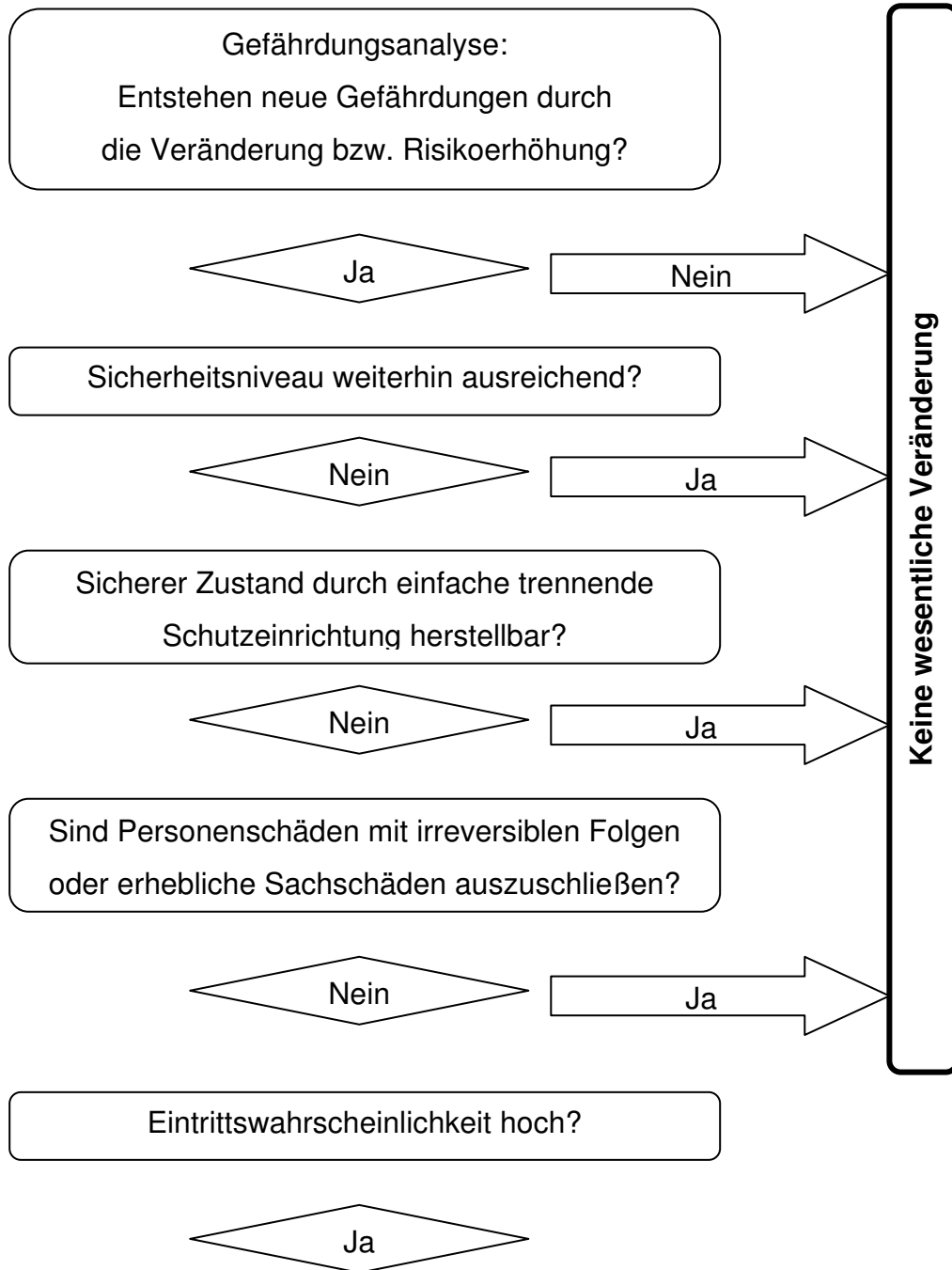
Anhang 1	Messprotokoll
Anhang 2	Fahrbahnuntersuchung
Anhang 3	Änderung an einer Maschine - Frageschema
Anhang 4	Drehmomentberechnung in der Beschleunigungsphase
Anhang 5	Anforderungsliste Blatt 1/2
Anhang 6	Anforderungsliste Blatt 2/2
Anhang 7	Variantenvergleich nach VDI 2225-Technische Bewertung
Anhang 8	Varianten im Stärkediagramm mit Wertetabelle
Anhang 9	Stückliste W00201-04 Blatt 1/2
Anhang 10	Stückliste W00201-04 Blatt 2/2
Anhang 11	Gesamtzeichnung W00201-04
Anhang 12	Zeichnungen Positionen 2.2/ 2.11
Anhang 13	Zeichnungen Position 2.5
Anhang 14	Zeichnungen Positionen 2.9/ 2.10
Anhang 15	vorkalkulierte Gesamtkosten Zentralantrieb
Anhang 16	Risikoanalyse - Handbetrieb - Blatt 1/4
Anhang 17	Risikoanalyse - Handbetrieb - Blatt 2/4
Anhang 18	Risikoanalyse - Handbetrieb - Blatt 3/4
Anhang 19	Risikoanalyse - Handbetrieb - Blatt 4/4
Anhang 20	Risikoanalyse - elektrischer Antrieb - Blatt 1/3
Anhang 21	Risikoanalyse - elektrischer Antrieb - Blatt 2/3
Anhang 22	Risikoanalyse - elektrischer Antrieb - Blatt 3/3
Anhang 23	Betriebsanweisung Wechseltischsystem
Anhang 24	Projektablaufplan
Anhang 25	Abschlusskalkulation
Anhang 26	Fahrversuch externer Antrieb
Anhang 27	technische Daten Zuggerät

Messaufgabe	1.) Messung der erforderlichen Schubkraft für die auf Schienen verfahrbaren Schneidtische der Plasmaschneidanlage		2.) Messung der erforderlichen Schubkraft für ein kontinuierliches Schieben des Schneidtesches	
Messgerät	Hersteller:	AHLBORN Mess- und Regelungstechnik GmbH		
	Bezeichnung:	ALMEMO 2390 - 8		
	Typ des Kraftaufnehmers:	K - 1613		
	maximal messbare Kraft:	2000 N Anzeige in KN		
	Genauigkeitsklasse:	± 0,5% vom maximal messbaren Kraftwert		
Daten eines Schneidtesches zum Zeitpunkt der Messung	Abmessungen:	4120 x 4250 x 1000mm (Länge x Breite x Höhe)		
	Gewicht:	exakt= 5837,96 kg; gerundet= 6000 kg		
	Zuladung:	keine		
	Radtyp:	Spurkranzrad Demag DRS 160 MA45-A-60-K		
	Werkstoff:	Sphäroguss EN-GJS-700-2		
	Schientyp:	A 45 DIN 536 A		
	Werkstoff:	Stahl E360		
Messaufbau				

(eigene Darstellung)



Liegt eine wesentliche Änderung an einer Maschine vor?



Es handelt sich um eine wesentliche Änderung!

(eigene Darstellung in Anlehnung an Siemens AG; Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen)

Formeln zur Beschleunigungsmomentberechnung

$$t_{be} = \frac{v_1}{a}$$

Formel 6 **Beschleunigungszeit**

$$s_{be} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{be}^2$$

Formel 7 **Beschleunigungsweg**

Legende

t_{be1} = Beschleunigungszeit (a_1) [s]

t_{be2} = Beschleunigungszeit (a_2) [s]

t_{be3} = Beschleunigungszeit (a_3) [s]

v_1 = Nenngeschwindigkeit - gewählt 10 [m/s]

a_1 = gewählte Beschleunigung von 0,2 [m/s²]

a_2 = gewählte Beschleunigung von 0,1 [m/s²]

a_3 = gewählte Beschleunigung von 0,05 [m/s²]

s_{be1} / s_{be2} / s_{be3} = Beschleunigungsweg (a_1 / a_2 / a_3) [m]

$$J_{red} = m \cdot \frac{v_1^2}{\omega_{Rad}^2} + \frac{2 \cdot F_w \cdot s_{be}}{\omega_{Rad}^2}$$

Formel 8 **reduziertes Massenträgheitsmoment**

$$M_{be} = J_{red} \cdot \frac{\Delta \omega_{Rad}}{\Delta t_{be}}$$

Formel 9 **Beschleunigungsdrehmoment am Antriebsrad**

Legende

m_1/m_2 = Masse leere und volle Beladung [kg]

J_{red11}/J_{red12} = reduziertes Massenträgheitsmoment bei a_1 und m_1/ m_2 [kg m²]

J_{red21}/J_{red22} = reduziertes Massenträgheitsmoment bei a_2 und m_1/ m_2 [kg m²]

J_{red31}/J_{red32} = reduziertes Massenträgheitsmoment bei a_3 und m_1/ m_2 [kg m²]

ω_{Rad} = Winkelgeschwindigkeit des Rads bei v_1 [1/s]

M_{be} = Beschleunigungsdrehmoment [Nm]

Alle verwendeten Formeln stammen aus dem Buch „Das 1 x 1 der Antriebsauslegung“ der Autoren Friedrich Wilhelm GARBRECHT und Joachim SCHÄFER.

		Anforderungsliste		F=Forderung W=Wunsch
Bachelorthesis BA Glauchau		<u>Projekt:</u> Antriebskonstruktion am Wechseltischsystem des Plasmaschneidroboters		Bearbeiter: David Bollmann
Anforderungen				
F W	Nr.	Bezeichnung	Werte, Daten, Erläuterungen, Änderungen	
	1	Funktion:		
F	1.1	zentral mitfahrender Antriebsmotor erzeugt ein Drehmoment an den hinteren Radnaben - beide Räder angetrieben	Auslegung über maximale Beschleunigung und Beladung	
F	1.2	maximale Beschleunigung von 0,1m/s² daraus ergibt sich nötiges Moment	a ≤ 0,1 m/s² M ≥ 285 Nm	
F	1.3	Möglichkeit für Einzel- und Koppelbetrieb der Tische schaffen	erforderlich bei voller Tischbelegung und maximaler Blechgröße von 8000 x 8000 x 70mm	
F	1.4	feste Endlage innerhalb der Anlage	mit Rollenschalter auf dem Fahrwagen	
W	1.5	Endlage der Tische außerhalb der Anlage	mit Rollenschalter auf dem Fahrwagen	
	2	Geometrie:		
F	2.1	Zahnwellenprofil nach DIN 5480 für Antriebswelle vorsehen	DIN 5480 45x2x21x6g	
F	2.2	Antriebswellen normgerecht ausführen	auf Normwellen zurückgreifen, Toleranzen und Passungen beachten	
F	2.3	verfügbaren Bauraum und Spitzenhöhe beachten	max. Bauraum 1160x1670x300mm Spitzenhöhe 80mm	
F	2.4	Fahrstrecke	Bahnlänge gesamt = 17m Fahrstrecke = 12m	
	3	Kinematik:		
F	3.1	Nenngeschwindigkeit	5 ≤ v ≤ 10 in m/min	
F	3.2	Positioniergeschwindigkeit für Endlagenfahrt muss einstellbar sein	<<Nenngeschwindigkeit	
W	3.3	Nenngeschwindigkeit	v=10 m/min	
F	3.4	geringe Beschleunigung	siehe 1.2	
F	3.5	Fahrbewegung muss gebremst werden können	über den Frequenzumrichter	
	4	Elektrik:		
F	4.1	Energiezuführung über eine Federleitungstrommel	Montage der Trommel hinten am Schneidisch	
W	4.2	ebenerdige Kabelverlegung	Ablage des Kabels innerhalb der Schienen	
F	4.3	Schienenreinigungssystem	Schmutz vor der Kabelablage entfernen - Schutz des Kabels vor Beschädigung	

(in Anlehnung an Hanser Verlag; Grundlagen der Konstruktionslehre)

		Anforderungsliste	F=Forderung W=Wunsch
Bachelorthesis BA Glauchau		<u>Projekt:</u> Antriebskonstruktion am Wechseltischsystem des Plasmaschneidroboters	Bearbeiter: David Bollmann
Anforderungen			
F W	Nr.	Bezeichnung	Werte, Daten, Erläuterungen, Änderungen
F	4.4	Motorausführung gebremst	nur Haltebremse
F	4.5	Frequenzumrichter zur Steuerung der Fahrbewegung	Beschleunigungs- und Bremsvorgang über Rampenfunktion
	5	Montage:	
F	5.1	einfache Montage aller Komponenten	Vermeiden der Notwendigkeit von Spezialwerkzeug, eindeutige Welle - Nabe Verbindung schaffen, Monta- gevorrichtung bereitstellen
W	5.2	Revisionsöffnung	Zugang zu den Antriebskomponenten für die Inbetriebnahme schaffen
F	5.4	Federleitungstrommel funktionsgerecht montieren	Durchmesser nicht über der Schneid- tischauflage, Mittelpunkt von Wickel- breite fluchtend zur Schiene
F	5.3	Reihenfolge der Montage	Montageplan vorgeben
	6	Sicherheit:	
F	6.1	Kollisionsverhinderung Maschinentisch - Mensch	Mitgängergeführtes System / Bedien- kabel am Wagen/ Totmannschalter
W	6.2	Ausfahrt/ Einfahrt der Tische nur bei ge- öffnetem Rolltor	Steuerung: Signal Tor offen ergibt die Freigabe des Motorantriebs
F	6.3	keine Verfahrbewegung bei Roboterbear- beitung	Endschalter an der Medienversor- gung der Schneidtische
F	6.4	Notaustaster am Schneidtisch und der Bedieneinheit anbringen	seitlich am Schneidtisch, am Schalt- schrank oder Bedienflasche
W	6.5	optisches, akustisches Signal bei Fahr- bewegung	Rundumleuchte hinten am Schneid- tisch anbringen, erzeugen eines Signaltons
	7	Instandhaltung:	
F	7.1	Verschleißteile regelmäßig warten	Wartungsplan
F	7.2	Verschleiß vorbeugen	ordnungsgemäßer Betrieb der Anla- ge, Betriebsanleitung
W	7.3	Wartungsfreiheit des Systems	Lebensdauer geschmierte Getriebe, Lager verwenden
F	7.4	Ersatzteilbeschaffung günstig	geeignete Zulieferkomponenten aus- wählen, eigene Fertigung nutzen

(in Anlehnung an Hanser Verlag; Grundlagen der Konstruktionslehre)

Bewertung der Varianten nach VDI 2225

Technische Bewertung

Bewertungsskala	Punkte p
sehr gut (ideal)	4
gut	3
ausreichend	2
gerade noch tragbar	1
unbefriedigend	0

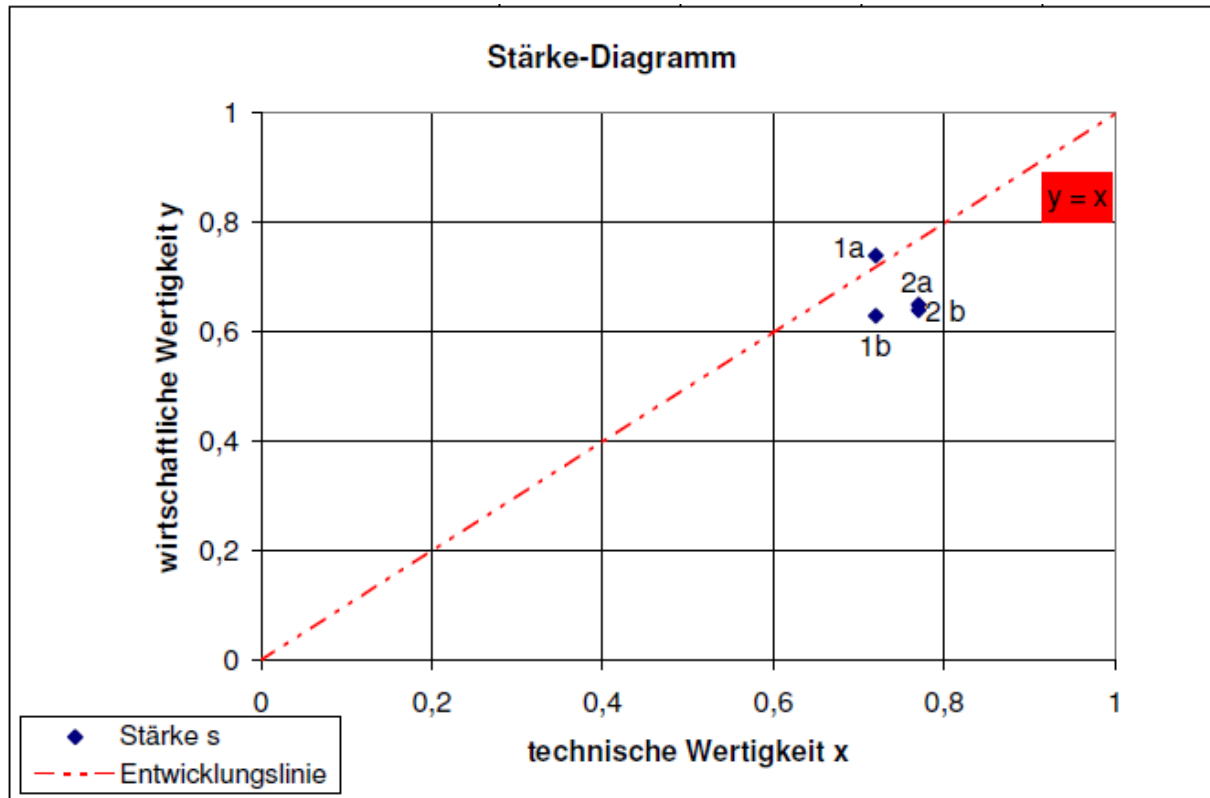
Zielstellung: Antrieb des Wechseltischsystems mit geeigneten Motoren und Einleitung des Drehmoments direkt an den Radnaben, Verwendung von Normteilen unter Beachtung des Radnabenprofils 45x2x21 7H nach DIN 5480

	SEW - Einzelradantrieb	v=5m/min		v=10m/min	
	Demag-Zentralantrieb	SEW	Demag	SEW	Demag
Nr.	Technische Eigenschaften	Variante 1a	Variante 2a	Variante 1b	Variante 2b
1	Funktionserfüllung	4	4	4	4
2	Einfache Antriebsgestaltung	3	3	3	3
3	Betriebssicherheit	2	3	2	3
4	Eigenfertigungsaufwand	2	3	2	3
5	Montageaufwand	3	2	3	2
6	Bodenfreiheit	3	2	3	2
7	Inbetriebnahme Aufwand	2	3	2	3
8	einzelne Verschleißteile	4	3	4	3
9	Wartungsaufwand /-zyklus	3	4	3	4
10	Ersatzbeschaffung /-teillanzahl	3	3	3	3
11	Bedienkomfort	3	3	3	3
12	Verbesserungsgrad	3	3	4	4
13	Betriebs- und Nutzungskosten	3	4	2	3
14	Lieferzeiten der Komponenten	3	3	3	3
15	Kenntnisse, Erfahrungen	2	3	2	3
p _{max} = 60 Summen:		43	46	43	46
technische Wertigkeit x:		0,72	0,77	0,72	0,77
Rangfolge:		3	2	4	1

Bemerkungen mit Variantenangabe und Kriterien-Nr.:

Nr. 5 Montageaufwand erhöht durch Räderwechsel	Varianten 2a und b	Nr. 12 Verbesserungsgrad bezogen auf Ausfahrzeit	alle Varianten
Nr. 7 Inbetriebnahmeaufwand erhöht durch 4Motoren	Varianten 1a und b	Nr. 15 Kenntnisse -Radblock und Antrieb gleicher Anbieter	Varianten 2a und b
Nr. 8 Verschleißteile einzeln (nicht gesamter Getriebemotor)	alle Varianten		

(in Anlehnung an VDI 2225; Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Blatt3)



(in Anlehnung an VDI 2225; Technisch - wirtschaftliches Konstruieren, Blatt 3)

SEW - Einzelradantrieb	v=5m/min		v=10m/min	
Demag-Zentralantrieb	SEW	Demag	SEW	Demag
Herstellkosten in Euro	Variante 1a	Variante 2a	Variante 1b	Variante 2b
ideale Herstellkosten H_i :	4500	4500	4500	4500
reale Herstellkosten H :	6252	7210	7281	7257
zulässige Herstellkosten H_{zul} :	5000			
$y = \frac{0,9x}{H_{zul}} = \frac{H_i}{H}$		$x = \frac{\sum p}{p_{max}}$		
wirtschaftliche Wertigkeit y:	0,72	0,62	0,62	0,62
technische Wertigkeit x:	0,72	0,77	0,72	0,77

Variantenvergleich - wirtschaftliche und technische Wertigkeit

(eigene Darstellung; Berechnung nach VDI 2225)

- Konstruktionsstückliste

Artikel-Nr.: W00201-04		Bez. 1: Antriebssystem Plasmaschneidische		Auftrag W00201		Kunde AMS Technology GmbH		Abnahme		erstellt am: 01.08.2012	
Zeich.-Nr. / Rev.: W00201-04		Bez. 2:								erstellt von: BOD	
										Rev. / Datum:	
										geändert von:	

Pos. / Tiefe	Anzahl	ME	Artikel-Nr. Z-Nr. / Rev.	Bezeichnung 1/2 Langtext	Rohmaß L [mm]	Rohmaß B [mm]	Bezug zu Rohmaterial	Werkstoff	DIN	WAZ	Bemerkungen	Rev.
1.1	2	Stck.		Demag Flachgetriebemotor AUK 30 DD-B14.0-35-1-62.2 ZBA 80 B 4 B007 inkl. Drehmomentsstützenset 81864544 (D2)						2.1 Werksbe- scheinigung	Fa. Demag Leistung 0,75kW	
1.2	4	Stck.		Demag Radblock DRS-160-MA35-A-60-K-X-X							Fa. Demag Nabe N35 nach DIN 5480	
1.3	2	Stck.		Zentralantrieb Set DRS 125 - max. Spurmittenmaß 1 x Antriebswelle/ 1 x Verbindungswelle 1 x Kupplung N35 inkl. Montagmaterial					DIN 5480		Fa. Demag	
1.4	1	Stck.		Hebelstange Betätigung manuelle Bremslüftung 1200mm lang	1200		Rohr Ø23 x 1.5	1.4301	DIN 11850			
2.1	2	Stck.		Federleitungstrommel TYP 28460410D-2505 SRK(Schleifringkörper): 4x25A + PE; IP66/ ãØ460mm - Wickelbreite 40mm; -Länge 15m inkl.Leitung								
2.2	2	Stck.		Befestigungswinkel Federtrommel 373 hoch x 120 breit x 203mm lang	545	130	Blech 8	1.4301	EN 10088-2			
2.3	8	Stck.		Sechskantschraube M12 x 25				A2	EN ISO 4017			
2.4	8	Stck.		Scheibe A13 - innenØ13				A2	DIN 125			
2.5	2	Stck.		Flanschplatte 140 x 120	140	120	Blech 15	1.4301	EN 10088-2			
2.6	8	Stck.		Sechskantschraube M10 x 40				A2	EN ISO 4017			
2.7	18	Stck.		Scheibe A10,5 - innenØ10,5				A2	DIN 125			
2.8	10	Stck.		Sechskantmutter mit Befestigungseinsatz M10				A4	DIN 982/ ISO 7040			

- Konstruktionsstückliste

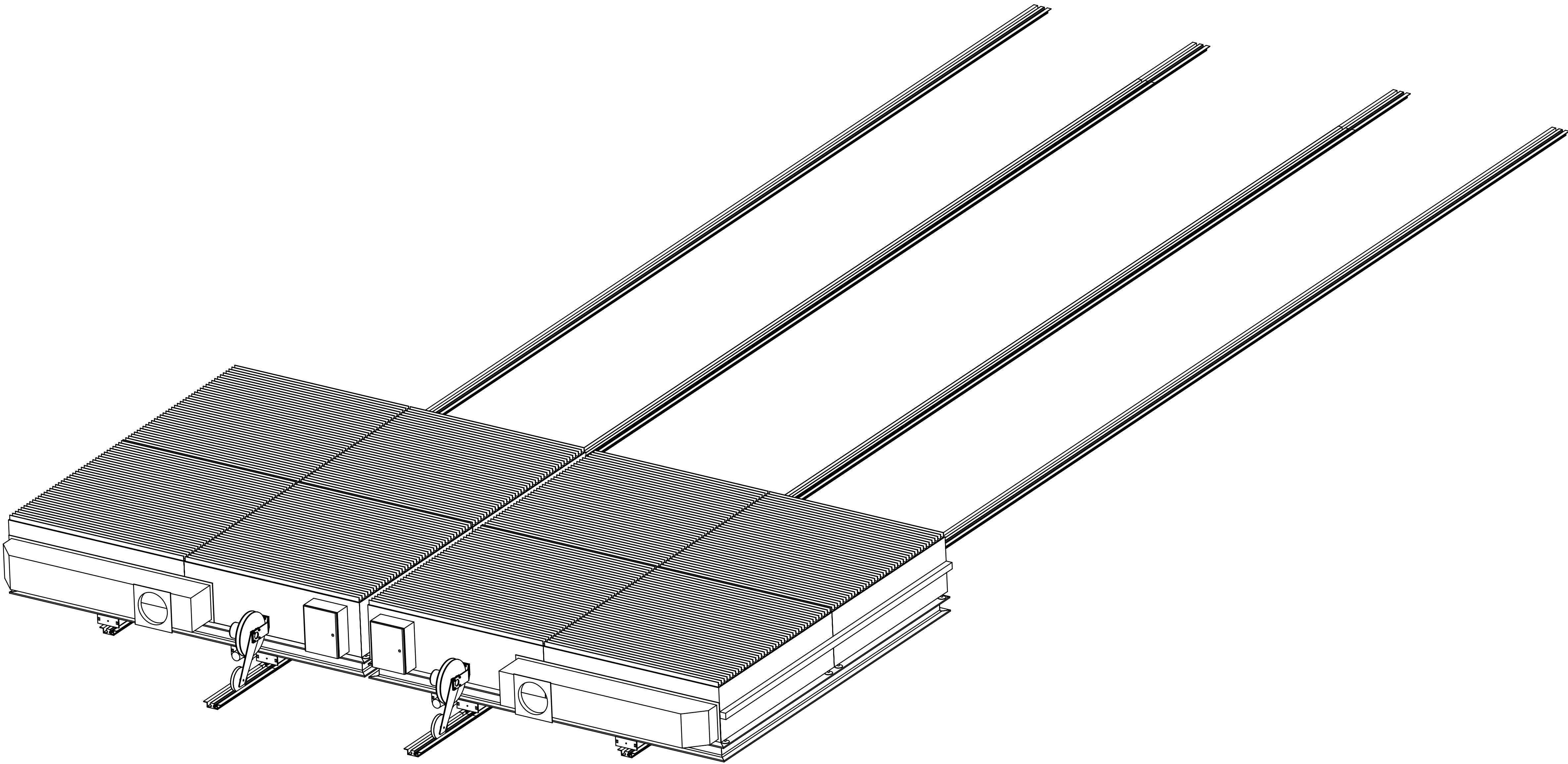
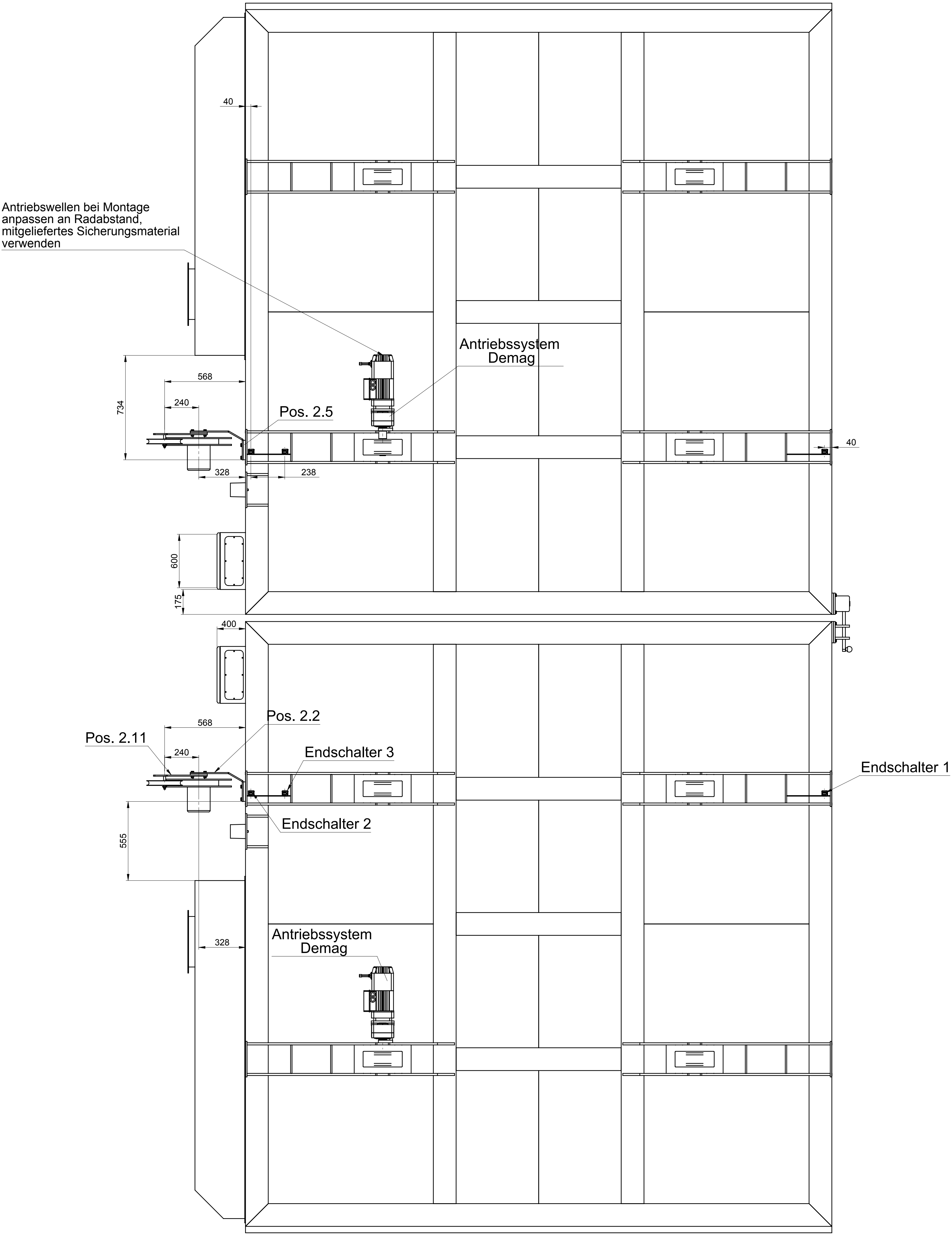
Artikel-Nr.: Zeich.-Nr. / Rev.:	Bez. 1: Antriebssystem Plasmaschneidische		Auftrag		Kunde		Abnahme		erstellt am: 01.08.2012 erstellt von: BOD Rev. / Datum: geändert von:
	W00201-04	Rev. 2:	W00201	AMS Technology GmbH					

Pos. / Tiefe	An- zahl	ME	Artikel-Nr. Z-Nr. / Rev.	Bezeichnung 1/2 Langtext	Rohmaß L [mm] B [mm]	Bezug zu Rohmaterial	Werkstoff	DIN	WAZ	Bemerkungen	Rev.
2.9	2	Stck.		Umlenkrolle Durchmesser 250mm/ 34mm breit Bohrungsdurchmesser 15H8		Ø250 x 50	POM				
2.10	2	Stck.		Lagerbolzen Ø15h9 - Länge 100mm beidseitig angedreht auf M10 x 15mm lang		Rund Ø15	1.4301	DIN 671			
2.11	2	Stck.		flacher Halter Umlenkrolle - 600 x 170	600 170	Blech 8	1.4301	EN 10088-2			
3.1	2	Stck.		Schaltschrank komplett bestückt - Beistellung							
3.2	1	Stck.		Handbediengerät HBA Euchner mit Totmannschalter und Not-Stopp Beistellung							
3.3	2	Stck.		Blitzlampe zur Befestigung am Wagen Beistellung							
3.4	2	Stck.		Not - Halt - Taster zur Befestigung am Schneidisch Beistellung							
3.5	6	Stck.		Rollenkippsschalter Siemens 3se5114-0ba00- Beistellung - 78 x 40 (Höhe x Breite) Bohrungsabstand 30 x 60 Ø5,3							
3.6	5	Stck.		Näherungsschalter M8 x 60lang Beistellung							
3.7	2	Stck.		Haltewinkel Näherungsschalter Medienabfrage 2 x 80 x 150 (Breite x Länge) - anpassen	200 200	Blech 2	1.4301	EN 10088- 2			
3.8	1	Stck.		Haltewinkel Abfrage Kopplung 2 x 75 x 100	200 200	Blech 2	1.4301				
3.9	24	Stck.		Zylinderschrauben mit Kreuzschlitz M5 x 40				DIN 7985			
3.10	2	Stck.		Haltewinkel Schaltschrank 600 x 40 x 40		Blech 3	1.4301	EN 10088-2			
3.11	4			Montageblech Endschalter 4 x 306 x 80	315 85	Blech 4	1.4301	EN 10088-2			

Gesamtzeichnung

- W00201 - 04 -

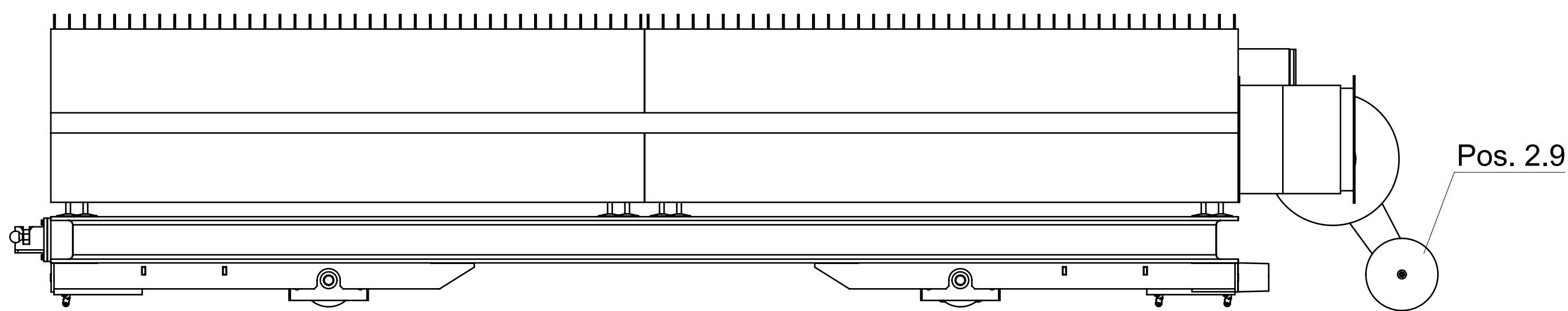
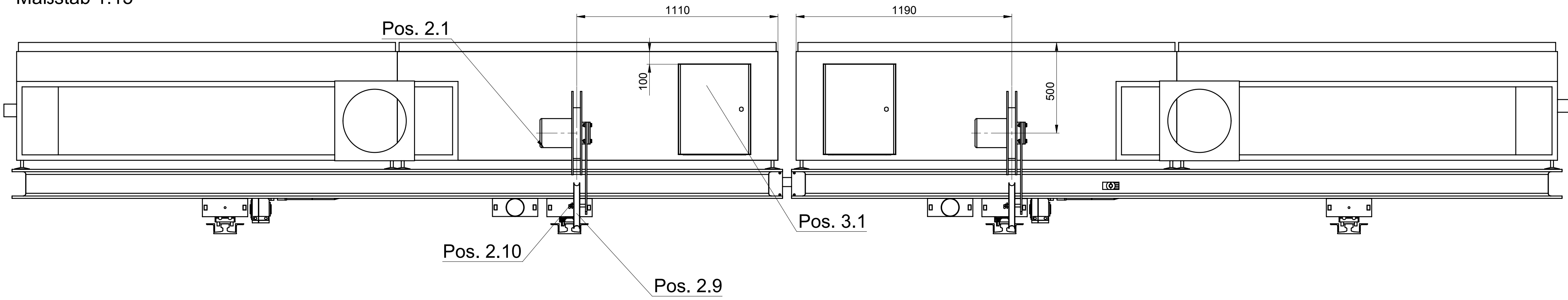
Maßstab 1:15



Maßstab 1:25

Maßstab 1:15

Abstand bei Montage prüfen - Einbau der Trommeln zur Schiene fluchtend

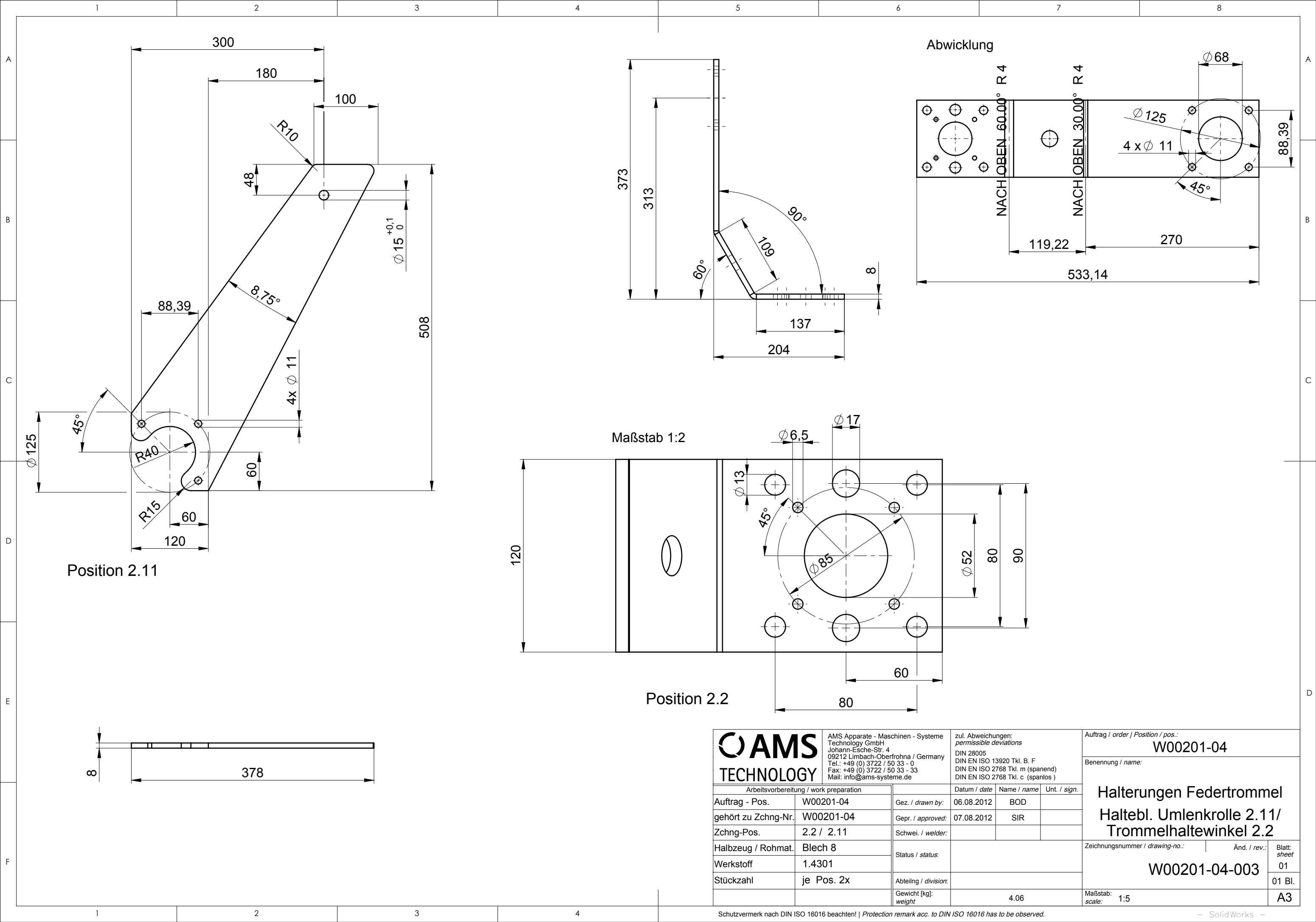


OAMS TECHNOLOGY		AUS Apparate - Maschinen - Systeme Technische Grafik Kontakt-Service-PC 10711 Gröden-Spergau, Südtirol Tel. +49 (0) 3722 18 02 - 5 Fax +49 (0) 3722 18 02 - 21 Mail: info@oams-system.de	Zul. Abrechnungen permaflex schalene DIN 50020 DIN EN ISO 15840 Teil 6, 8, 9 DIN EN ISO 2768 Teil 1 (supplement) DIN EN ISO 2768 Teil 2 (supplement)	Auftrag / unter Werkauftrag Plasma Bezeichnung / name Zentralantriebssystem
Auftrag - Pos. gehört zu Zeich. Nr. Zeichn. Pos. Halbzeug / Rohmaterial		Gez. / abgew. / ge. Gez. / abgew. / ge. Gez. / abgew. / ge. Abrechnung / abgerech. Abrechnung / abgerech. Abrechnung / abgerech.	08.08.2012 08.08.2012 08.08.2012 08.08.2012 08.08.2012 08.08.2012	BOG BR BR BR BR BR
Zeichnungsnummer / zeichnungs-nr. W00201-04		Anst. / rec. 02 BR		Änd. / rec. 02 BR
Skizzen 1:50		Änd. / rec. 02 BR		Änd. / rec. 02 BR

Einzelteilzeichnung

Zusammenfassung Positionen 2.2/ 2.11

- Trommelhaltewinkel/ Anschlussblech Umlenkrolle -



AMS Apparate - Maschinen - Systeme
Technology GmbH
Johann-Esche-Str. 4
09212 Limbach-Oberfrohna / Germany
Tel.: +49 (0) 3722 / 50 33 - 0
Fax: +49 (0) 3722 / 50 33 - 33
Mail: info@ams-systeme.de

zul. Abweichungen:
permissible deviations
DIN 28005
DIN EN ISO 13920 Tkl. B, F
DIN EN ISO 2768 Tkl. m (spanend)
DIN EN ISO 2768 Tkl. c (spanlos)

Auftrag / order / Position / pos.:
W00201-04

Benennung / name:
**Halterungen Federtrommel
Haltebl. Umlenkrolle 2.11/
Trommelhaltewinkel 2.2**

Zeichnungsnummer / drawing-no.:
W00201-04-003

Maßstab:
scale: 1:5

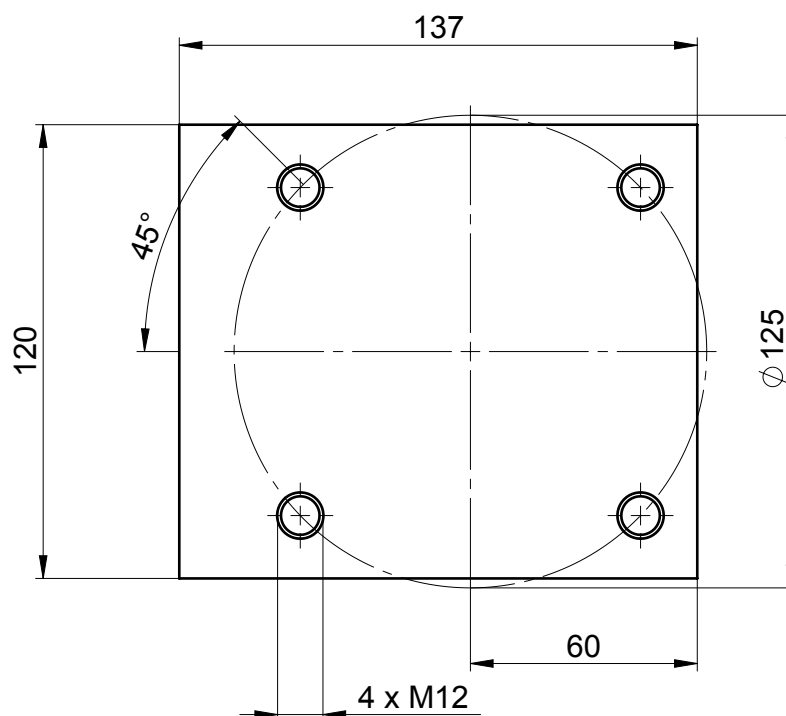
Arbeitsvorbereitung / work preparation		Datum / date	Name / name	Unt. / sign.
Auftrag - Pos.	W00201-04	Gez. / drawn by:	06.08.2012	BOD
gehört zu Zchnng-Nr.	W00201-04	Gepr. / approved:	07.08.2012	SIR
Zchnng-Pos.	2.2 / 2.11	Schwei. / welder:		
Halbzeug / Rohmat.	Blech 8	Status / status:		
Werkstoff	1.4301	Abteilung / division:		
Stückzahl	je Pos. 2x	Gewicht [kg]: weight	4.06	

Einzelteilzeichnung Position 2.5

- Flanschplatte -

A

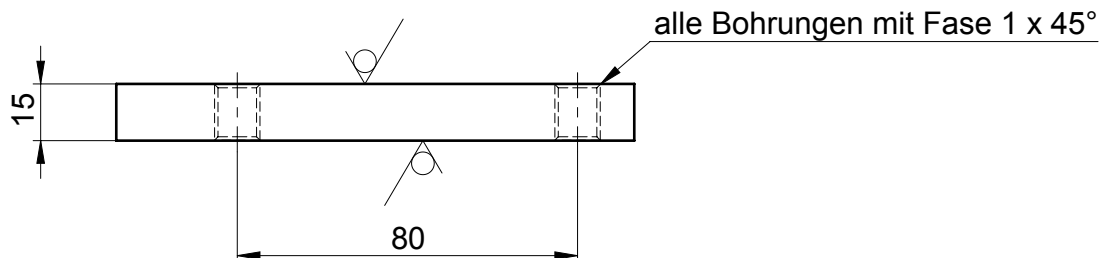
Maßstab 1:2



B

C

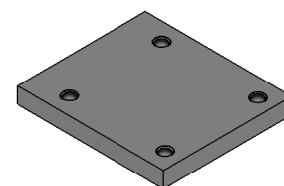
Maßstab 1:2



D

Position 2.5

Bearbeitung:
Konturbearbeitung durch Plasmaschneiden
anschließend bohren



E

AMS
TECHNOLOGY

AMS Apparate - Maschinen - Systeme
Technology GmbH
Johann-Esche-Str. 4
09212 Limbach-Oberfrohna / Germany
Tel.: +49 (0) 3722 / 50 33 - 0
Fax: +49 (0) 3722 / 50 33 - 33
Mail: info@ams-systeme.de

zul. Abweichungen:
permissible deviations
DIN 28005
DIN EN ISO 13920 Tkl. B. F
DIN EN ISO 2768 Tkl. m (spanend)
DIN EN ISO 2768 Tkl. c (spanlos)

Auftrag - Pos. / order - pos.:

W00201-04

Benennung / name:

Flanschplatte

Blech 15 x 120 x 137

F

			Datum / date	Name / name	Unt. / sign.
Auftrag - Pos.	W00201-04	Gez. / drawn by:	06.08.2012	BOD	
gehört zu Zchnng-Nr.	W00201-04	Gepr. / approved:	07.08.2012	SIR	
Zchnng-Pos.	2.5	Schwei. / welder:			
	Blech 15	Status / status:			
Werkstoff	1.4301	Abteilung / division:			
Stückzahl	2	Gewicht [kg]: weight:	1.91		

Zeichnungsnummer / drawing-no.:

Änd. / rev.:

Blatt:
sheet

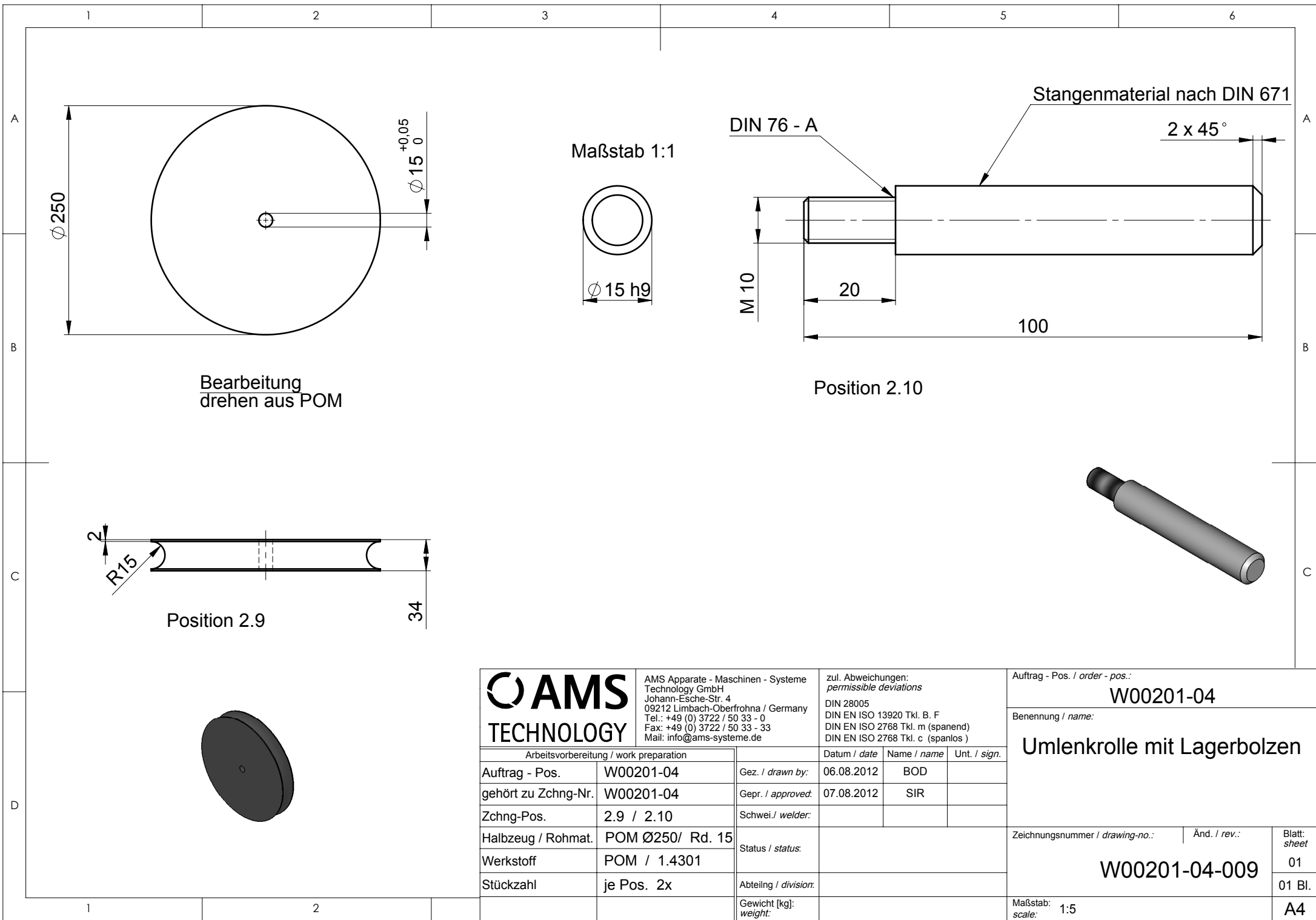
W00201-04-005

01 Bl.

Maßstab:
scale: 1:5

A4

Einzelteilzeichnung
Zusammenfassung Positionen 2.9/ 2.10
- Umlenkrolle/ Lagerbolzen -



AMS Apparate - Maschinen - Systeme
Technology GmbH
Johann-Esche-Str. 4
09212 Limbach-Oberfrohna / Germany
Tel.: +49 (0) 3722 / 50 33 - 0
Fax: +49 (0) 3722 / 50 33 - 33
Mail: info@ams-systeme.de

zul. Abweichungen:
permissible deviations
DIN 28005
DIN EN ISO 13920 Tkl. B. F
DIN EN ISO 2768 Tkl. m (spanend)
DIN EN ISO 2768 Tkl. c (spanlos)

Auftrag - Pos. / order - pos.: W00201-04		
Benennung / name: Umlenkrolle mit Lagerbolzen		
Zeichnungsnummer / drawing-no.:	Änd. / rev.:	Blatt: sheet
W00201-04-009		01
Maßstab: scale: 1:5		01 Bl.
		A4

Arbeitsvorbereitung / work preparation	
Auftrag - Pos.	W00201-04
gehört zu Zchnng-Nr.	W00201-04
Zchnng-Pos.	2.9 / 2.10
Halbzeug / Rohmat.	POM Ø250/ Rd. 15
Werkstoff	POM / 1.4301
Stückzahl	je Pos. 2x

Datum / date	Name / name	Unt. / sign.
06.08.2012	BOD	
07.08.2012	SIR	
Schwei. / welder:		
Status / status:		
Abteilung / division:		
Gewicht [kg]: weight:		

Zentralantrieb					v=10m/min	
Beschreibung: - mit Hohlwellenmotor D=35 mit Vielkeilverzahnung -Antriebswelle Radblock DIN5480 35x16x2 6g -Zentralantriebswellenset für 2Radantrieb mit starrer Kupplung -Schaltkästen mitfahrend 1/Tisch						
Materialkosten						
	Komponente	Stück	Bezeichnung	Preis	Gesamt	
1	Getriebemotor ohne HBL(Handbremslüftg)	2	0,75kW	960,5	1921	
2	Getriebemotor mit HBL	2	AUK 30 DD-B14.0-35-1-62.2 ZBA 80 B 4 B007	1172,15	2344,3	
3	Konsole Federleitungstrommel	2	Bl. 8 x 120 x 560	29,76	60	
4	Flanschplatte für Konsolbefestigung	2	Bl. 15 x 120 x 140	14,88	30	
5	Halterung Umlenkrolle	2	Bl. 6 x 120 x 1000	39,68	80	
6	Laufradset	4	DRS-160_MA35_A_60	256,595	1026,38	
7	Kleinteile Verpackung	1		50	50	
8	Wellenset Zentralantrieb	2		285,175	570,35	
9	Federleitungstrommel	2		915	1830	
10	Material Umlenkrolle	1	POM D=250 x 200mm	100	100	
			48kg/m - 10,11Euro/kg			
				mit Motor ohne HBL	Σ:	5.668 €
					Summe:	
				(mit HBL-Getriebemotor)		6.092 €
Montagekosten - Mechanik						
	Bearbeitungsschritt	MA	Stundenlohn/ MA	Zeit	Kosten	
1	aufbocken 1 Tisches vor der Maschinenhalle/ am Ende abbocken	2		42	2	168
2	Demontage der hinteren Laufräder DRS160 MA 45	2		42	2	168
3	Montage der neuen Laufräder DRS160 MA35	2		42	2	168
4	Ausrichtung der Radblöcke prüfen - Achsen der Räder zueinander fluchtend	2		42	1	84
5	Drehmomentstütze an Radblockaufnahme montieren	1		42	2	84
6	kurze Steckwelle in Hohlwellenmotor einziehen	1		42	1	42
7	Motor mit Steckwelle an Radblock montieren/ Drehmomentstütze anziehen	2		42	1	84
8	lange Antriebswelle in gegen-überliegenden Radblock stecken mit Kupplung Verbindung zur Motorwelle herstellen	2		42	1	84
9	Flanschplatte anschweißen an Schneidtschrückwand	1		42	1	42
10	Haltewinkel an Flanschplatte anschrauben und anschließend Leitungstrommel montieren	2		42	1,5	126
11	Umlenkrollenhalter/ Umlenkrolle einbauen	1		42	1	42
12	Schienenreinigungsbürsten installieren	1		42	1	42
13	Halterung Schaltkasten montieren	1		42	1,5	63
14	Halterung Näherungsschalter anschrauben	1		42	1	42
15	Wiederholung Schritt 1 - 14				19	1197
				plus 10% der Gesamtzeit x 42Euro als Anpassungszeit	3,8	136,8
				Zeit Σ:	42	
				Summe:		2572,8
				Gemeinkosten:	5%	128,64
				Summe:		2.702 €

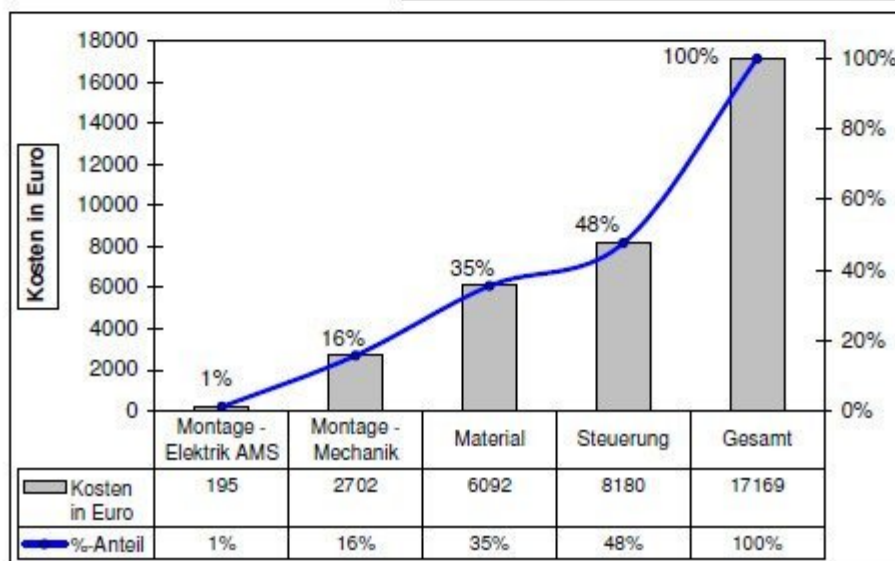
Montagekosten - Eigenanteil Elektrik					
	Bearbeitungsschritt	MA	Stundenlohn/ MA	Zeit	Kosten
1	aufbocken 1 Tisches vor der Maschinenhalle/ am Ende abbocken - schon in mechan. Montage berechnet				0
2	Montage/ Anklemmen Federleitungstrommel	1	42	1	42
3	Wiederholung Schritt 1 - 3			1	42
4	Netzanschluss über Kabelkanal verlegen Anschluß zu Federleitungstrommel herstellen	1	42	2	84
plus 10% der Gesamtzeit x 42Euro als Anpassungszeit				0,4	16,8
Zeit Σ:				4	
				Summe:	184,8
Gemeinkosten:				5%	9,24
				Summe:	195 €
Steuerungskosten - Automatisierung					
	Angebotsinhalt - Bearbeitungsschritt			Anzahl	Kosten
1	Beistellung Federleitungstrommel AMS				
2	Schaltkastenmontage - Automatisierungsfirma				
3	Anbieter 3 - Steuerung: E-Konstruktion/ Montage von 1 Schaltkasten mit Umrichter und Bedieneinheiten/ Programmierung und Inbetriebnahme				
4	2 x mitfahrender Schaltkasten mit: Gehäuse, Netzteil 24VDC, Sicherheitssteuerung Pilz PNOZ-Multi, FU SEW MC07B0008-5A3-4-S0 + Bremswiderstand BW072-003, Handbediengerät Euchner (Not-Halt-Taster + 4xDrucktaster als 3-stufiger Totmannschalter), Hartingsteckverbindung zusätzlich: 2 x Not-Halt-Taster vorne am Tisch + Blinkleuchte, 6 x Rollenkippschalter, 5 x Näherungsschalter				4920
5	Installationsmaterial: Kabel, Steckverbinder, Sensoren				580
6	Schaltanlage programmieren + Inbetriebnahme				2680
				Summe:	8.180 €
				Gesamtsumme:	17.169 €

Zentralantrieb

Zentralantrieb

Euro %-Anteil

Kostentabelle			
		in Euro	%-Anteil
	Montage - Elektrik AMS	195	1%
	Montage - Mechanik	2702	16%
	Material	6092	35%
	Steuerung	8180	48%
	Gesamt	17169	100%



Risikoanalyse/ -beurteilung				Maschine : Wechseltischsystem - manueller Betrieb -			Schadensausmaß (S)				Wahrscheinlichkeit (W)				Datum: 01.08.2012 Blatt 1/4	
Betriebsart: Einzelbetrieb				Teilsysteme: Rastsystem Tischarretierung/ Schneidtisch/ Fahrwagen			Ursache		Ereignis	Risiko		Schutzziel	Nr.	Maßnahmen	Rest- risiko	
				Gefahr	Nr.	Person im Gefahrenbereich	S	W		S	W				Hinweise	
1.	lösen der Tisch- arretierung	1.1	Stoßen durch Bewegung des Tisches	Fuß/ Bein im Tischbereich	1.1.1	Anschub des Tisches um Arretierung zu lösen	Fuß/ Beinverletzung	IV	A	Verletzung durch Tischbewegung vermeiden	1	Arretierhebel beim lösen sperren/ elektr. Antrieb Haltebremse	IV	D	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert	
2.	Tisch anschieben aus Mahalle heraus	2.1	Stoßen an Tischkante	Oberkörper/ Kopf	2.1.1	unsaubere Fahrbahn/ keine Haftung z. Fußboden	Kopf- / Bauch- verletzung	III	A	Ausrutschen beim Anschub verhindern	2	elektrischer Antrieb/ pers. Schutz - Schuhe mit Grip	IV	D	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert	
					2.1.2	fahrlässiges Drücken -kein Halt der Hände am Tisch	Kopf- / Bauch- verletzung	IV	B	verhindern des Abrutschens d Hände	3	elektrischer Antrieb/ Griff zum schieben	IV	D	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert	
3.	Tisch schieben	3.1	Stoßen an Tischkante	siehe 2.1	3.1.1	siehe 2.1.2	siehe 2.1.2	IV	B	siehe 2.1.2	3	siehe 2.1.2	IV	D	siehe 2.1.2	
		3.2	Quetschen durch Tisch- bewegung am Rolltor vorbei	untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß	3.2.1	Schub am Tischrand	Quetschen der unteren Gliedmaßen	III	B	Personenkontakt mit Tischkante - Torrahmen verhindern	4	elektr. Antrieb - Totmannschalt- ung/ ortsbinden- de Bedienung	III	D	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert	
					3.2.2	3. Person im Zwischenraum Tisch - Rolltor	Quetschen der unteren Gliedmaßen	III	C	Personenkontakt mit Tischkante - Torrahmen verhindern	4	siehe oben 3.2.1	III	D	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert	

Risikoanalyse/ -beurteilung				Maschine : Wechseltischsystem - manueller Betrieb -			Schadensausmaß (S)			Wahrscheinlichkeit (W)			Datum: 01.08.2012 Blatt 2/4		
Nr.	Betriebsart Beschreibung	Nr.	Gefahrensituation		Nr.	Ursache	Ereignis	Risiko		Schutzziel	Nr.	Maßnahmen	Rest- risiko	Hinweise	
			Gefahr	Person im Gefahrenbereich				S	W						S
4.	Tisch abbremsen	3.3	Quetschen durch gegenläufige Bewegung der Tische	untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß	3.3.1	Schub am Tischrand	Quetschen der unteren Gliedmaßen	II	B	Tischkontakt mit Personen im Zwischen- bereich verhindern	5	elektr. Antrieb/ kein Aufenthalt in Gefahrenzone - ortsbindende Bedienung	II	E	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert
5.	Tisch in Maschinenhalle hineinschieben	4.1	Stoßen an Tischkante	untere Gliedmaßen - Hüfte/Bein/ Fuß	4.1.1	Ausrutschen beim gegen die Fahrtrichtung stemmen	Fuß/ Beinverletzung an Bediener und Dritten	IV	B	Ausrutschen beim Bremsen verhindern	5	elektrischer Antrieb/ pers. Schutz - Schuhe mit Grip	IV	D	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert
5.	Tisch in Maschinenhalle hineinschieben	4.2	Stoßen, Quetschen durch unkontrolliert bewegte Teile	untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß/ Oberkörper	4.2.1	keine Werkstück- befestigung auf dem Tisch	Fuß-/ Bein-/ Bauchver- letzung an Bediener und Dritten	III	C	Kollision verhindern	5	siehe 3.3 Sperrbereich	III	D	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert
Es treten dieselben Gefährdungen auf wie in den Punkten Nummer 3 und 4 und es werden die gleichen Schutzmaßnahmen getroffen															

Risikoanalyse/ -beurteilung				Maschine : Wechseltischsystem - manueller Betrieb -		Schadensausmaß (S)				Wahrscheinlichkeit (W)				Datum: 01.08.2012 Blatt 3/4											
Betriebsart: Einzelbetrieb				Teilsysteme:		Rastsystem Tischarretierung/ Schneidtisch/ Fahrwagen		Ursache		Ereignis		Risiko		Schutzziel		Nr.		Maßnahmen		Rest- risiko					
				Person im Gefahrenbereich								S W								S W					
Tisch abbremsen auf Endanschläge auffahren - Arretieren				6.1		Es treten dieselben Gefährdungen auf wie im Punkt 4.1 auf und es werden die gleichen Schutzmaßnahmen getroffen												Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert							
				6.2		Es treten dieselben Gefährdungen auf wie im Punkt 4.2 auf und es werden die gleichen Schutzmaßnahmen getroffen												Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert							
				6.3		Quetschen durch Aufenthalt im Einfahrbereich Tisch		untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß		6.3.1 3.Person im Gefahrenbe- reich zw. Tisch und Absaugung		Quetschen der unteren Gliedmaßen		III C		Personenaufenth alt zwischen Andockstation der Absaugung und Tisch und Tisch verhindern		7		elektr. Antrieb - Bedienung über Totmannschalt- ung/ Gefahren- zone sichern - Sperrbereich		III D		Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert	

Risikoanalyse/ -beurteilung				Maschine : Wechseltischsystem - manueller Betrieb -				Schadensausmaß (S)				Wahrscheinlichkeit (W)				Datum:	
Betriebsart: Koppelbetrieb				Teilsysteme: Rastsystem Tischarretierung/ Schneidtisch/ Fahrwagen				I Tod II schwerer bleibender Gesundheitsschaden III leichter bleibender Gesundheitsschaden IV heilbare Verletzung mit Arbeitsausfall V heilbare Verletzung ohne Arbeitsausfall				A häufig B gelegentlich C selten D unwahrscheinlich E praktisch unmöglich				01.08.2012 Blatt 4/4	
Nr.	Betriebsart Beschreibung	Nr.	Gefahrensituation Person im Gefahrenbereich	Nr.	Ursache	Ereignis	Risiko S W	Schutzziel	Nr.	Maßnahmen	Rest- risiko S W	Hinweise					
1.	Schneidtische koppeln - Hebel der Kopplung schließen	1.1	Quetschen am Hebel der Kopplung/ Stößen an Vorrichtung	1.1.1	Versatz der Tische zueinander - Hebel schließt schlecht	Handverletz- ung, Stoßen am Fahrwagen	IV B	Quetschen der Hand verhindern, 1 Stoßgefahr mindern	1	Koppeln der Tische nur in Endlage - fluchtend/ Kanten abrunden	IV C	Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert					
2.	Für den weiteren Ablauf des Schiebens der gekoppelten Tische aus der Halle und wieder hinein sind die gleichen Gefährdungen wie im Einzelbetrieb anzutreffen. Lediglich die Quetschgefahr durch den gegenläufigen Betrieb entfällt (Punkt 3.3). Dafür ist durch den beidseitig verengten Tordurchgang, beim Durchfahren die Quetschgefahr erhöht. Schutzmaßnahmen gelten wie in den Punkten 1. bis 6. im Einzelbetrieb.												Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert				
												Restrisiko in Betriebs- anweisung gemindert					

Risikoanalyse/ -beurteilung				Maschine : Wechseltischsystem - elektrisch angetrieben -		Schadensausmaß (S)			Wahrscheinlichkeit (W)			Datum: 03.08.2012 Blatt 1/3				
Betriebsart: Einzelbetrieb				Teilsysteme: Federleitungstrommeln/ Antriebe Schneidtisch-Fahrgagen		Ursache		Ereignis	Risiko		Maßnahmen	Rest- risiko	Hinweise			
				Nr.	Gefahrensituation Person im Gefahrenbereich				S	W				S	W	
Nr.	Betriebsart Beschreibung	Nr.	Gefahr	Nr.	Person im Gefahrenbereich	Nr.	Ursache	Ereignis	S	W	Schutzziel	Nr.	Maßnahmen	S	W	Hinweise
1.	Hauptschalter einschalten/ Bedienkabel aufnehmen zum Start	1.1	elektrische Gefährdung			1.1.1	Berühren spannungsführ- ender Teile	Stromschlag - Hand/ Armver- letzungen	III	D	Kontakt zu spannungsführen den Teilen vermeiden	1	Isolation der Schalter; Unterbringung der el. Bauteile im Schaltkasten	III	E	Restrisiko i.O./ (BA) - Betriebsan- weisung beachten
2.	Tisch aus Endlage fahren - Bewegung vorwärts	2.1	Quetschen durch Tisch- bewegung am Rolltor vorbei		untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß	2.1.1	Position zwischen Torrahmen und Rand	Quetschen der unteren Gliedmaßen	III	B	Personenkontakt mit Tischkante - Torrahmen verhindern	2	Anbringung der Bedieneinheit - außerhalb Gefahrenbereich	III	E	Restrisiko i.O./ BA beachten
		2.2	gegenläufige Tischbe- wegung/ Quetschen		untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß	2.2.1	Position zwischen den Tischen (50mm Spalt)	Quetschen der unteren Gliedmaßen	II	B	Personenauf- enthalt zwischen den Tischen verhindern	3	Anbringung des HBA - vorne mittig an den Tischen	II	E	Restrisiko i.O./ BA beachten
					Unbefugte MA	2.2.2	siehe 2.2.1	siehe 2.2.1	II	B	siehe 2.2.1		Sperrbereich	II	D	siehe 2.2.1
3.	Tischbewegung stoppen	3.1	Stoßen an Tischkante		siehe 2.1	3.1.1	Kollision beim bremsen/ Position zu nah an den Tischen	Verletzung der Beine/ Hüfte	III	C	Kollision verhindern	4	Dämpfungs- element im Bedienbereich/ Totmannschalter	IV	C	Restrisiko i.O./ BA beachten
						3.1.2	Kollision beim bremsen mit dritten Personen	Verletzung der Beine/ Hüfte	III	C	Kollision verhindern	5	Dämpfungs- element im Bedienbereich/ Totmannschalter/ Sperrbereich	IV	D	Restrisiko i.O./ BA beachten

Risikoanalyse/ -beurteilung				Maschine: Wechseltischsystem - elektrisch angetrieben -		Schadensausmaß (S)			Wahrscheinlichkeit (W)			Datum: 03.08.2012 Blatt 2/3						
Betriebsart: Einzelbetrieb				Teilsysteme: Federleitungstrommeln/ Antriebe Schneidtisch - Fahrwagen		Ereignis			Schutzziel		Nr.		Maßnahmen		Rest- risiko		Hinweise	
				Gefahrensituation Person im Gefahrenbereich		Nr.		Ursache		Risiko S W		Nr.		Maßnahmen		S W		
Nr.	Betriebsart Beschreibung	Nr.	Gefahr	Stoßen, Quetschen durch unkontrolliert bewegte Teile	untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß/ Oberkörper	3.2.1	keine Werkstück- befestigung auf dem Tisch	Fuß-/ Bein-/ Bauchver- letzung Bediener und 3. Personen	Absturz der Werkstücke vom Tisch verhindern	6	Werkstück- anschlag anbringen/ Teile sicher ablegen/ Sperrbereich	IV C	IV D	Restrisiko i.O./ BA beachten				
4.	Tisch in Maschinenhalle hineinfahren	4.1	Es treten dieselben Gefährdungen auf wie in den Punkten Nummer 2 und 3 und es werden die gleichen Schutzmaßnahmen getroffen															
5.	Tisch bremsen auf Endposition fahren - Haltebremse	5.1	Es treten dieselben Gefährdungen auf wie im Punkt 3.1 auf und es werden die gleichen Schutzmaßnahmen getroffen															
		5.2	Es treten dieselben Gefährdungen auf wie im Punkt 3.2 auf und es werden die gleichen Schutzmaßnahmen getroffen															
		5.3	Quetschen durch Aufenthalt im Einfahrbereich Tisch	untere Gliedmaßen - Hüfte, Bein, Fuß	5.3.1	3. Person im Gefahrenbe- reich zw. Tisch und Absaugung	Quetschen der unteren Gliedmaßen	III C	Personenkontakt mit Andockstation der Absaugung und Tisch verhindern	7	ortsbindende Anbringung der Bedienung - vorne an den Tischen mittig/ Sperrbereich	III D	Restrisiko i.O./ BA beachten					

Risikoanalyse/ -beurteilung				Maschine : Wechseltischsystem - elektrisch angetrieben -		Schadensausmaß (S)			Wahrscheinlichkeit (W)			Datum: 03.08.2012 Blatt 3/3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Betriebsart: Koppelbetrieb				Teilsysteme:		Federleitungstrommeln/ Antriebe Schneidtisch-Fahrwagen/Kopplung			Ursache			Ereignis			Risiko		Schutzziel		Nr.		Maßnahmen		Rest- risiko		Hinweise																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
				Person im Gefahrenbereich											S								W																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Nr.	Betriebsart Beschreibung	Nr.	Gefahrensituation	Nr.	Ursache	Ereignis	Risiko	Schutzziel	Nr.	Maßnahmen	Rest- risiko	S	W	Hinweise																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Betriebsanweisung für den Umgang mit Wechseltischen

1. Gefahren für Mensch und Umwelt



- Gefahren durch unbefugtes Benutzen.
- Gefahren durch das Verfahren der Tische.
- Gefahren durch herabfallende Teile

2. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln



- Nur durch ausgebildete und beauftragte Personen bedienen lassen.
- Betriebsanweisung beachten
- Schutzschuhe und Schutzhandschuhe verwenden
- Zutrittsverbote zu den Sperrflächen einhalten
- Sichteinschränkung beim Herausfahren beachten.
- Nicht zwischen den beiden Tischen aufhalten.
- Beim Verfahren der Tische niemals neben den Tischen herlaufen. Immer von der Stirnseite aus, wo sich die Steuerung befindet, die Tische verfahren.
- Jährliche Sachkundigenprüfung der Sicherheitseinrichtungen und der elektrischen Komponenten vornehmen lassen.
- Sichtkontrolle vor Arbeitsaufnahme vornehmen.
- Sicherheitseinrichtungen wie die Totmannschaltung nicht unwirksam machen.
- Notschalter mindestens monatlich überprüfen.
- Verfahrbereich beobachten

3. Verhalten bei Störungen

- Anlage stillsetzen und gegen unbefugte Benutzung sichern
- Vorgesetzten informieren.
- Mangel durch Sachkundigen beseitigen lassen.

4. Erste Hilfe

Notruf 112

- Hilfe des Ersthelfers in Anspruch nehmen bzw. Notarzt alarmieren.
- Unfallstelle sichern.
- Vorgesetzten informieren. Verbandsbucheintrag vornehmen

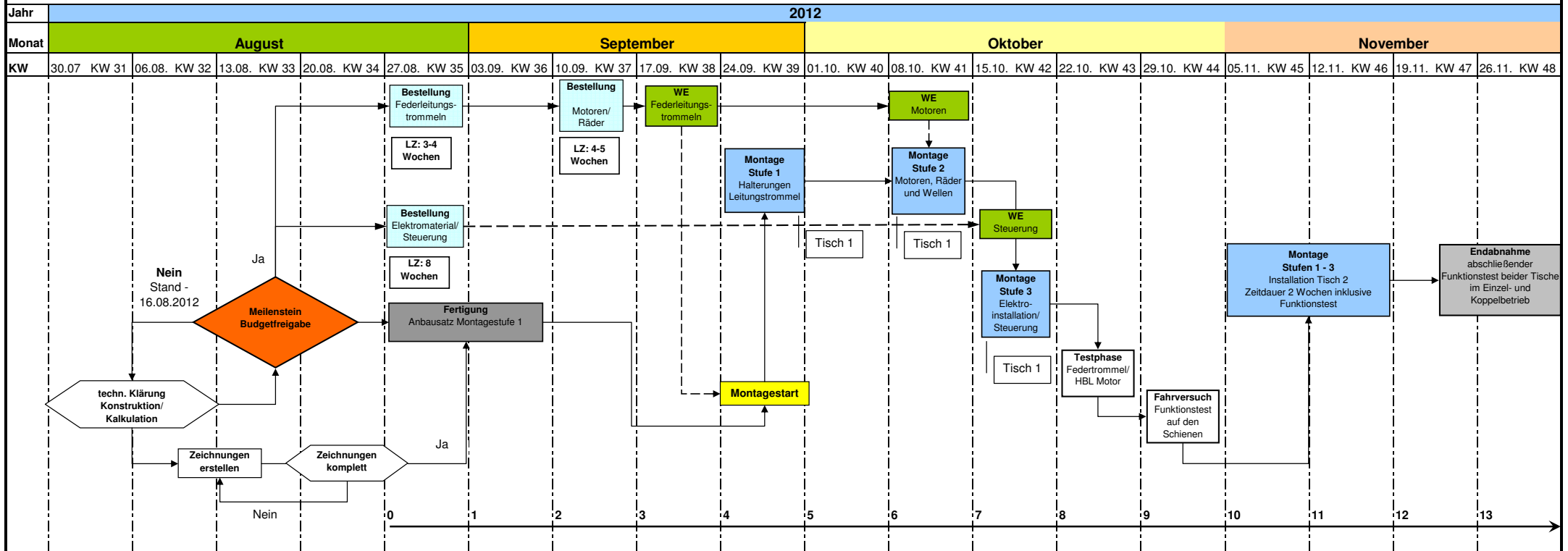
5. Instandhaltung, Entsorgung

Instandsetzung darf nur durch Sachkundige vorgenommen werden.

(erstellt durch die Fachkraft für Arbeitssicherheit der AMS Technology GmbH, in
Absprache während der Erarbeitung der Antriebskonstruktion)

- Projektablaufplan in Abhängigkeit der Lieferzeiten -

Ablaufschema Antriebsprojekt Plasmaanlage
- zeitlich eingeordnet in Abhängigkeiten der Lieferzeiten -



Stand: 16.08.2012
Verfasser: David Bollmann

Legende:
HBL = Handbremslüftung
LZ = Lieferzeit
WE = Wareneingang

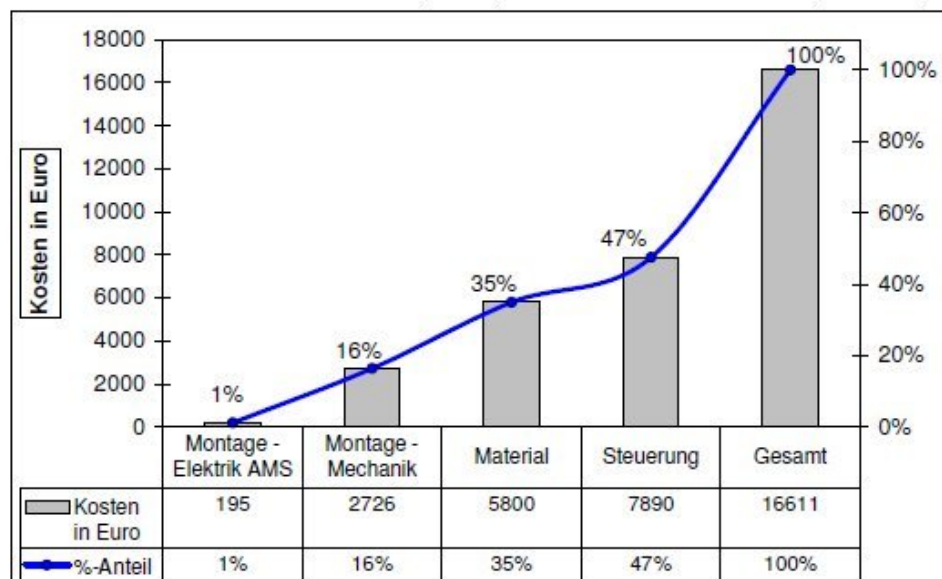
Zentralantrieb $v=10m/min$					
Beschreibung: -mit Hohlwellenmotor D=35 mit Vielkeilverzahnung -Antriebswelle Radblock DIN5480 35x16x2 6g -Zentralantriebswellenset für 2Radantrieb mit starrer Kupplung -Schaltkästen mitfahrend 1/Tisch					
Materialkosten					
Komponente	Stück	Bezeichnung	Preis	Gesamt	
1 Getriebemotor ohne HBL(Handbremslüftg)	2	0,75kW	960,5	192	
2 Getriebemotor mit HBL	2	AUK 30 DD-B14.0-35-1-62.2 ZBA 80 B 4 B007	1172,15	2344,3	
3 Konsole Federleitungstrommel	2	Bl. 8 x 120 x 560	29,76	60	
4 Flanschplatte für Konsolbefestigung	2	Bl. 15 x 120 x 140	14,88	30	
5 Halterung Umlenkrolle	2	Bl. 6 x 120 x 1000	39,68	80	
6 Laufradset	4	DRS-160_MA35_A_60	256,595	1026,38	
7 Kleinteile Verpackung	1		50	50	
8 Wellenset Zentralantrieb	2		285,175	570,35	
9 Federleitungstrommel	2		915	1830	
10 Material Umlenkrolle	1	POM D=250 x 200mm	100	100	
		48kg/m - 10,11Euro/kg			
11 Antrieb - Preiszusammenfassung		Räder + Motoren + Wellen		3650	
		ohne Paketpreis:	Σ	6.092 €	
			Summe:		
			(mit Paketpreisangebot)	5.800 €	
Montagekosten - Mechanik					
Bearbeitungsschritt	MA	Stundenlohn/ MA	Zeit	Kosten	
1 aufbocken 1 Tisches vor der Maschinenhalle/ am Ende abbocken	2		42	2	168
2 Demontage der hinteren Laufräder DRS160 MA 45	2		42	2	168
3 Montage der neuen Laufräder DRS160 MA35	2		42	2	168
4 Ausrichtung der Radblöcke prüfen - Achsen der Räder zueinander fluchtend	2		42	1	84
5 Drehmomentstütze an Radblockaufnahme montieren	1		42	2	84
6 kurze Steckwelle in Hohlwellenmotor einziehen	1		42	1	42
7 Motor mit Steckwelle an Radblock montieren/ Drehmomentstütze anziehen	2		42	1	84
8 lange Antriebswelle in gegen-überliegenden Radblock stecken mit Kupplung Verbindung zur Motorwelle herstellen	2		42	1	84
9 Flanschplatte anschweißen an Schneidtschrückwand	1		42	1	42
10 Haltewinkel an Flanschplatte anschrauben und anschließend Leitungstrommel montieren	2		42	1,5	126
11 Umlenkrollenhalter/ Umlenkrolle einbauen	1		42	1	42
12 Schienenreinigungsbürsten installieren	1		42	1	42
13 Halterung Schaltkasten montieren	1		42	1,5	63
14 Halterung Näherungsschalter anschrauben	1		42	1	42
15 Wiederholung Schritt 1 - 14			19		1197
		plus 10% der Gesamtzeit x 42Euro als Anpassungszeit	3,8		159,6
			Zeit Σ :	42	
			Summe:		2595,6
			Gemeinkosten:	5%	129,78
			Summe:		2.726 €

Montagekosten - Eigenanteil Elektrik				
Bearbeitungsschritt	MA	Stundenlohn/ MA	Zeit	Kosten
1 aufbocken 1 Tisches vor der Maschinenhalle/ am Ende abbocken - schon in mechan. Montage berechnet				0
2 Montage/ Anklemmen Federleitungstrommel	1	42	1	42
3 Wiederholung Schritt 1 - 3			1	42
4 Netzanschluss über Kabelkanal verlegen Anschluß zu Federleitungstrommel herstellen	1	42	2	84
plus 10% der Gesamtzeit x 42Euro als Anpassungszeit			0,4	16,8
Zeit Σ:			4	
Summe:				184,8
Gemeinkosten:			5%	9,24
				Summe: 195 €
Steuerungskosten - Automatisierung				
Angebotsinhalt - Bearbeitungsschritt			Anzahl	Kosten
1 Beistellung Federleitungstrommel AMS				
2 Schaltkastenmontage - Automatisierungsfirma				
3 Anbieter 3 - Steuerung: E-Konstruktion/ Montage von 1 Schaltkasten mit Umrichter und Bedieneinheiten/ Programmierung und Inbetriebnahme				
4 2 x mitfahrender Schaltkasten mit: Gehäuse, Netzteil 24VDC, Sicherheitssteuerung Pilz PNOZ-Multi, FU SEW MC07B0008-5A3-4-S0 + Bremswiderstand BW072-003, Handbediengerät Euchner (Not-Halt-Taster + 2xDrucktaster als 3-stufiger Totmannschalter), Hartingsteckverbindung zusätzlich: 2 x Not-Halt-Taster vorne am Tisch + Blinkleuchte, 4 x Rollenkippschalter, 5 x Näherungsschalter				4680
5 Installationsmaterial: Kabel, Steckverbinder, Sensoren				530
6 Schaltanlage programmieren + Inbetriebnahme				2680
			Summe:	7.890 €
			Gesamtsumme:	16.611 €

Zentralantrieb

Euro %-Anteil

Kostentabelle			
	in Euro	%Anteil	
Montage - Elektrik AMS	195	1%	
Montage - Mechanik	2726	16%	
Material	5800	35%	
Steuerung	7890	47%	
Gesamt	16611	100%	



Fahrversuch am Wechseltischsystem Plasmaanlage mit Elektrozuggerät					
durchgeführt von:	Blatt 1/1		Zugfahrzeug		
Bollmann, David	X		Typ	elektrischer Hochhubwagen	
Spichtinger, Robin	X		Bezeichng.	YALE MS12 - 3220	
Aurich, Markus	X		Daten	siehe technisches Datenblatt	
Beschreibung:	- Zug/ Schubtest an jedem einzelnen Tisch und gekoppelt - aus der Anlage ziehen und hineinschieben - mehrmals anfahren/ bremsen				
Ziehen/ Schieben	- Bremsvorgang prüfen auf Nachlauf des Gespanns und sicheren Halt				
Durchführung					
Tisch 1 (Blick von vorn rechts) ohne Last	kaum machbar	gut machbar	problemloser Betrieb	Zeit in sek.	Bemerkungen
Ausfahren - Anfahrvorgang			X		
Fahren - Ziehen Nenngeschwindigkeit			X		
Fahren - Schieben Nenngeschwindigkeit			X		
Bremsen - langsam			X		- über runterregeln der Geschwindigkeit (motorisch)
Bremsen - NotStopp		X		ca. 1	- Nachlauf vorhanden - ca. 20cm Anhalteweg
		Gesamtfahrzeit 10m:		20	- manuell 50 sek. 1Person
Tisch 2 (Blick von vorn links) ohne Last	kaum machbar	gut machbar	problemloser Betrieb	Zeit in sek.	Bemerkungen
Ausfahren - Anfahrvorgang			X		
Fahren - Ziehen Nenngeschwindigkeit			X		
Fahren - Schieben Nenngeschwindigkeit			X		
Bremsen - langsam			X		- über runterregeln der Geschwindigkeit (motorisch)
Bremsen - NotStopp		X		ca. 1	- Nachlauf vorhanden - ca. 20cm Anhalteweg
		Gesamtfahrzeit 10m:		20	- manuell 50 sek. 1Person
gekoppelter Betrieb ohne Last	kaum machbar	gut machbar	problemloser Betrieb	Zeit in sek.	Bemerkungen
Ausfahren - Anfahrvorgang		X			- Schlupf am Antriebsrad - langsames Anfahren OK
Fahren - Ziehen Nenngeschwindigkeit			X		- einmal angefahren ist Bewegung kein Problem
Fahren - Schieben Nenngeschwindigkeit			X		- einmal angefahren ist Bewegung kein Problem
Bremsen - langsam		X			- über runterregeln der Geschwindigkeit (motorisch)
Bremsen - NotStopp		X		2	- Bremsweg (Anhalteweg) 40cm durch Nachlauf
		Gesamtfahrzeit 10m:		40	- manuell nur durch 2Pers.

(eigene Darstellung)

Zugfahrzeugdaten Auszug aus Herstellerdatenblatt YALE nach VDI 2198			
Kenndaten	Hersteller/ Typ		YALE MS 12 - 3220
	Antrieb		Elektro
	Bedienung		Mitgängerbetrieb
	Tragfähigkeit/ Last	kg	1200 kg
	Lastschwerpunkt	c in mm	600
	Lastabstand	x in mm	744
	Radstand	y in mm	1315
Gewicht	Eigengewicht	kg	960
	Achslast mit Last vorn/hinten	kg	740/ 1420
	Achslast mit Last vorn/hinten	kg	670/ 290
Räder/ Reifen	Bereifung vorn/ hinten Vollgummi, Polyurethan		Poly/ Poly
	Räder Anzahl vorn/ hinten x=angetrieben		1 x +1/2
Leistung	Fahrgeschwindigkeit mit/ ohne Last	km/h	5,5 / 6,0
	Hubgeschwindigkeit mit/ ohne Last	m/s	0,12/ 0,18
	Senkgeschwindigkeit mit/ ohne Last	m/s	0,30/ 0,25
	Max. Steigfähigkeit mit/ ohne Last	%	7/ 10
	Betriebsbremse, (S2 60min.)		Elektromagnetisch
Motor	Fahrmotor, Leistung S2 60min	kW	1,2
	Hubmotor, Leistung bei S3 15%	kW	2
	Batterie nach DIN 43531/35/36 A, B, C, nein		43535 B
	Batteriespannung, Nennkapazität K5	V / Ah	24/ 210 (250)
	Batteriegewicht	kg	223 (212)

(Auszug aus Herstellerdatenblatt; Katalog Yale GmbH)

Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

1. dass ich meine **Bachelorthesis** mit dem Thema:

Konstruktion eines Fahrtriebs für das Schneidtischsystem einer 3D-Plasmaschneidroboteranlage

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und

3. dass ich meine Bachelorthesis bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Limbach-Oberfrohna, den 22.08.2012

Ort, Datum

David Boll

Unterschrift

Thesen zur Bachelorarbeit

Thema:

Konstruktion eines Fahrtriebs für das Schneidischsystem einer 3D-Plasmaschneidroboteranlage

Thesen:

- Die momentane Situation am Wechseltischsystem der Plasmaschneidanlage erfordert einen hohen manuellen Kraftaufwand um die Tische zu bewegen.
- Durch den elektrischen Antrieb des Wechseltischsystems der Plasmaschneidroboteranlage wird sich der mögliche Anwenderkreis erhöhen und der bisher notwendige Kraftaufwand reduzieren.
- Die Zentralantriebskonstruktion stellt eine problemlose 1-Mann Bedienung der Anlage sicher.
- Eine Risikoanalyse des bestehenden manuell betriebenen Tischsystems ergab große Sicherheitslücken.
- Der Einbau der Sicherheitsschaltung und die Verwendung eines Totmannschalters hat die Sicherheit an den Wechseltischen wesentlich verbessert.
- Mit dem Einsatz von Federleitungstrommeln als Energiezuführung ist die Bewegung auf der Fahrbahn mit Flurförderzeugen uneingeschränkt möglich.
- Die Konstruktion des Antriebssystems ermöglicht einen reibungslosen Kopplbetrieb der Wechseltische.